

**SYNOPSIS DER
NEUROCHIRURGISCHEN INTERVENTIONEN AM
SCHMERZLEITUNGSSYSTEM UND DEREN
ANWENDUNG BEI POSTAMPUTATIONS - ,
MALIGNOM - UND POSTHERPETISCHEN
SCHMERZEN**

BARBARA DECHANT

1987



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554624_0054

Aus der Neurologischen Klinik Großhadern
der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. T. Brandt

SYNOPSIS DER NEUROCHIRURGISCHEN INTERVENTIONEN
AM SCHMERZLEITUNGSSYSTEM UND DEREN ANWENDUNG
BEI POSTAMPUTATIONS - , MALIGNOM - UND
POSTHERPETISCHEN SCHMERZEN

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von
Barbara Dechant

aus
Augsburg

1987

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter : Prof. Dr. A. Schnader

Mitberichterstatter : Prof. Dr. F. Maiguth

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter : Priv.-Doz. Dr. K. Einhäupl

Dekan : Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung : 24.02.1987

In Dankbarkeit meinen Eltern und Rose Mann gewidmet.
Ich danke ferner Herrn Privatdozent Dr. Einhüpl für
die Überlassung des Themas und seine Betreuung.

Synopsis der Neurochirurgischen Interventionen am Schmerzleitungssystem und deren Anwendung bei Postamputations-, Malignom- und posttherpetischen Schmerzen

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	3
2. Zusammenstellung der operativen Behandlungsverfahren	6
2.1. Chordotomie	6
2.1.1. Offene anterolaterale Chordotomie	8
2.1.2. Offene zervikale Chordotomie	10
2.1.3. Perkutane zervikale Chordotomie	11
2.2. Nervenblockaden	13
2.2.1. Periphere Nervenblockaden	13
2.2.2. Spinale Nervenblockaden	15
2.3. Stereotaktische Operationen	17
2.3.1. Spinothalamische mesenzephalische Traktotomie	18
2.3.2. Rostrale mesenzephalische Retikulotomie	23
2.3.3. Spinothalamische metenzephalische pontine Traktotomie	24
2.3.4. Thalamotomie	25
2.3.5. Posteromediale Hypothalamotomie	31
2.3.6. Pulvinarotomie	34
2.3.7. Cingulotomie	35
2.3.8. Extralemniskale Myelotomie	37
2.4. Implantation eines Elektrostimulators	39
2.4.1. Periphere Nervenstimulation	40
2.4.2. Rückenmarkstimulation	45
2.4.3. Hirnstimulation	52
3. Anwendung der verschiedenen operativen Verfahren bei Postamputations-, Malignom- und posttherpetischen Schmerzen	58
3.1. Vorbemerkung	58
3.2. Behandlung von Postamputationsschmerzen	62
3.2.1. Schmerztypen	62
3.2.2. Periphere Nervenblockade	67
3.2.3. Sympathektomie	70
3.2.4. Elektrostimulation	72
3.2.4.1. Transkutane Nervenstimulation (TENS)	72
3.2.4.2. Periphere Nervenstimulation	72
3.2.4.3. Rückenmarkstimulation	74
3.2.4.4. Hirnstimulation	75
3.2.5. Stereotaktische Operationen	77
3.2.6. Chordotomie	77
3.2.7. Myelotomie	78
3.3. Behandlung von Malignomschmerzen	79
3.3.1. Chordotomie	81
3.3.2. Kommissurale Myelotomie	84
3.3.3. Spinale Nervenblockade	85
3.3.4. Hirnstimulation	86
3.3.5. Stereotaktische Operationen	87
3.3.6. Rückenmarkstimulation	90
3.3.7. Evaluation der verschiedenen Schmerzoperationen	91

3.4. Behandlung von posttherpetischen Schmerzen	92
3.4.1. Transkutane Elektrische Nervenstimulation	92
3.4.2. Kryokauterung	93
3.4.3. Stimulation des primär sensomotorischen Thalamus	93
3.4.4. Stereotaktische Operationen	94
3.4.5. Myelotomie und Chordotomie	94
4. Diskussion und Zusammenfassung	95
5. Literaturverzeichnis	99
6. Lebenslauf	109

1. Einleitung

Schmerzbekämpfung stellt eines der größten Probleme des Arztberufes dar. Schmerz erzeugt den Leidensdruck, der den Patienten zum Arzt führt. Schätzungsweise ein Drittel der Bevölkerung von Industrieländern leiden unter chronischen Schmerzzuständen, die Hälfte bis zwei Drittel sind für Tage, Wochen, Monate oder auf immer invalide (Bonica).

Bedauerlicherweise versagt die Schmerztherapie in vielen Fällen, da der momentane Stand der Forschung hinter dem der übrigen Medizin zurücksteht. Nachfolgend möchte ich einige Gründe für diese These anführen.

Patienten, die an bösartigen Krankheiten leiden, haben dank der verbesserten Behandlungsverfahren steigende Überlebenszeiten. Dies ist aber in vielen Fällen mit der Ausprägung von chronischen Schmerzzuständen vergesellschaftet. So geraten viele in die Gefahr, Medikamentenintoxikationen zu erleiden oder drogenabhängig zu werden. Wenn nichts hilft, wird nicht selten ärztliche Behandlung aufgegeben und in der Paramedizin Hilfe gesucht.

Das Thema Schmerztherapie kommt in der ärztlichen Ausbildung viel zu kurz. In der Universität wird zu wenig über die Unterschiede zwischen akutem und chronischem Schmerz, was insbesondere seine Ätiologie, Funktion, Mechanismus, Physiopathologie und den Zugang zu Diagnose und Therapie anbetrifft, unterrichtet. Die Bedeutung des Schmerzes als diagnostisches Hilfsmittel wird in den Vordergrund gestellt und die Behandlung des akuten und chronischen Schmerzes meist nur kurz abgehandelt (Bonica).

Schmerzforschung und -theorie stagnierten ein Jahrhundert lang. Vor allem die Unterschiede zwischen akutem und chronischem Schmerz wurden kaum untersucht. Die Forschungsergebnisse, die man mit künstlich erzeugtem Schmerz an Tieren gewann, lassen sich nur eingeschränkt auf chronische Schmerzzustände beim Menschen übertragen. Erst vor einem Jahrzehnt bezog man verstärkt psychologische und Umweltfaktoren mit ein, die vorher nur als Nebenfaktoren des Schmerzgeschehens betrachtet

wurden.

Der so wichtige Kontakt zwischen Forschern und Klinikern beschränkte sich lange Zeit auf das Veröffentlichen und Lesen von speziellen Zeitschriften. Erst kürzlich intensivierte sich die Zusammenarbeit der beiden Gruppen an großen Kliniken und auf bisher zwei Weltkongressen für Schmerz. 1974 wurde die International Association for the Study of Pain (IASP) gegründet, die die Zeitschrift "PAIN" herausgibt. Die Forscher bemühen sich gegenwärtig, allgemein anerkannte Definitionen und Klassifikationen für Schmerzzustände zu finden und Computerdatenbanken einzurichten, da die Fundamente für eine empirische Erforschung des Phänomen "Schmerz" erst geschaffen werden müssen.

Von 1971-75 gab das National Institute of Health in den USA 2,5 Billionen \$ jährlich für Forschungszwecke aus, von denen nur 0,03% für die Erforschung von Schmerzmechanismen vorgesehen waren.

1973 veröffentlichten Melzack und Wall ihre Gate-Control-Theorie des Schmerzes, ein Konzept, das der Schmerzforschung neuen Schwung verlieh. Hier wird sie kurz in der von Wall 1978 verbesserten Fassung vorgestellt:

- 1) Bestimmte dünne Nervenfasern (A₁ und C) reagieren ausschließlich auf starke Verletzungsreize, während andere mit einer niedrigeren Erregungsschwelle schon verstärkt feuern, wenn ein Stimulus nozizeptives Niveau erreicht.
- 2) Neurone der Substantia gelatinosa, die durch die Schmerzsignale erregt werden, werden ihrerseits durch andere von peripher kommende Nervenfasern geholt oder gehemmt, die Informationen für nicht nozizeptive Ereignisse leiten.
- 3) Deszendierende Kontrollsysteme aus dem Gehirn modulieren die Erregbarkeit von Nervenzellen, die Schmerzinformation dem Gehirn übermitteln.

Dieses Konzept wurde jedoch in einigen Punkten widerlegt. So kann präsynaptische Hemmung nicht als ein von postsynaptischer Hemmung isolierter Vorgang betrachtet werden. Ob die

Bahnungen präsynaptischer oder postsynaptischer Natur oder beides sind , ist unsicher. Hingegen wurde von vielen Physiologen bestätigt, daß durch eine Aktivierung dicker Fasern eine hemmende Wirkung dünner Fasern erzielt werden kann.

Dieser neurophysiologischen Schmerztheorie möchte ich das umfassendere Konzept Rays folgen lassen. Ray versteht die Entwicklung chronischen Schmerzes als einen funktionalen Krankheitsprozess. Drei Bedingungen sind notwendig, daß Schmerz sich permanent neurologisch manifestiert:

- 1) Das paleospinothalamische System muß für längere Zeit (wahrscheinlich für mehrere Wochen oder einige Monate) in den Prozeß einbezogen sein.
- 2) Der Patient ist metabolisch prädisponiert aufgrund von falscher Synthese, Transport, Verbrauch oder Katabolismus von endogenen Opiaten.
- 3) Der Patient entwickelt ein gelerntes Engramm.

Das Engramm ist zu einem Teil zustandsabhängig, d.h. es kann sich besonders bei der Anwendung von Medikamenten bei der Schmerzbehandlung ausbilden.

Eine erfolgreiche Schmerzbehandlung müßte alle drei Bedingungen berücksichtigen, was jedoch meist nicht durchführbar ist.

Im Folgenden soll nun ein Aspekt der Behandlung chronischer Schmerzzustände erörtert werden, nämlich die operativen Therapiemöglichkeiten, die heutzutage Anwendung finden.

2. Zusammenstellung der operativen Behandlungsverfahren

2.1. Chordotomie

Die Bedeutung des Vorderseitenstranges als Schmerz-
übermittlungsbahn zum Gehirn ^{wurde} erstmals durch die nach der
Durchschneidung resultierende Schmerzaufhebung beim
Menschen entdeckt. Das physiopathologische Prinzip
ist folgendes: Die Sektion des neospinothalamischen
Bündels bewirkt eine kontralaterale Analgesie, die
günstigstenfalls bis zu dem Dermatome hochreicht, das
dem zwei Marksegmente unterhalb des Chordotomieniveaus
entspricht.

Foerster fordert bei allen Schmerzzuständen der un-
teren Körperhälfte, die Traktotomie in Höhe von D2-D3
vorzunehmen, da a) die Erfahrung gezeigt hat, daß das
Analgesieniveau postoperativ eine Tendenz zum Absinken
zeigt und b) die Chordotomie in höheren Thorakalsegmen-
ten eine zuverlässigere Ausschaltung der - gemäß der
somatotopischen Gliederung des Vorderseitenstranges -
exzentrisch gelegenen kaudalen Faseranteile ermöglicht.

Hyndman und van Epps empfehlen noch die Höhe D5-D6
für Schmerzzustände in sehr tief gelegenen Körpersegmen-
ten.

In der Literatur wird nahezu übereinstimmend angege-
ben, daß nach ausgezeichneten Anfangserfolgen der Schmerz
in insgesamt 50-60% der Fälle wiederkehrt, was Langzeit-
studien eindrücklich belegen (White, Sweet, Pisco). Diese
wiederauftretenden Schmerzzustände lassen sich unterteilen
in Dysästhesien und Hyperpathien im beabsichtigten Analge-
siegebiet (ca. 8% bei Nathan), Schmerzempfindungen auf der
kontralateralen Seite (20% bei Mazars bzw. Nathan) und an-
dere diffuse Schmerzzustände aufgrund sensorischer Deaffe-
rentierung (3% bei Hamby, Guillaume, Mazars).

Oft beobachtete Komplikationen manifestieren sich in
Form von Blasendysfunktionen, vorübergehenden und bleibenden
Lähmungen, Ataxien, Horner-Syndrom und Hypotension. Bei bi-
lateralem Vorgehen treten diese Komplikationen verstärkt

in Erscheinung. Besonders verhängnisvoll wirken sich respiratorische Störungen aus speziell bei Patienten mit zervikaler Chordotomie, deren automatische Atemregulation aufgehoben ist und die während des Schlafens nicht mehr selbständig atmen können (schlafinduzierte Apnoe). Die offene und die perkutane Methode unterscheiden sich bezüglich der neurologischen Komplikationen nicht signifikant (Piotrowski & Panitz).

Die anterolaterale Chordotomie ist hauptsächlich bei Malignomschmerzen der unteren Körperhälfte bei Patienten mit kürzerer Überlebenszeit indiziert, da die Analgesiewirkung erfahrungsgemäß nicht lange anhält. Phantom- und posttherpetische Schmerzzustände erwiesen sich für die Chordotomie als ungeeignet.

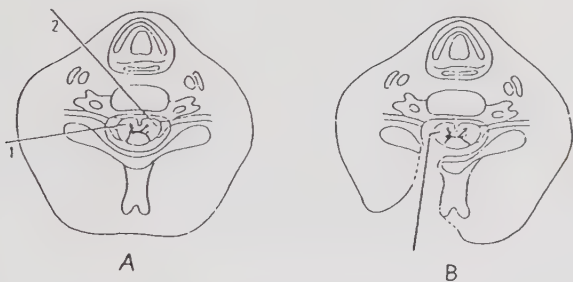


Abb.1

- | | |
|--------------------------|--|
| A: Perkutane Chordotomie | B: Klassische offene Chordotomie, hier in Form einer Hemilaminektomie dargestellt. |
| 1 lateraler Zugang | |
| 2 ventraler Zugang | |

(Zum besseren Vergleich Demonstration an einem Hals-Querschnitt)

(Piscot, K.: Die spinalen Schmerzoperationen, 1974 (103))

2.1.1. Offene anterolaterale Chordotomie

Dieser Eingriff wird in Allgemeinanästhesie oder Neuroleptanalgesie vorgenommen. Piscol sowie Mazars et al. führen bei einseitiger Chordotomie eine möglichst weit laterale Hemilaminektomie durch, um die Dura mater in Höhe des Zackenbändchens längs inzidieren zu können. Bei doppelseitiger Chordotomie werden zwei Laminae weggenommen, wenn man nicht zwei interlamiäre Fenster bzw. zwei Hemilaminektomien vorzieht. Diese müssen dann jedoch um 1-2 Wirbelbögen versetzt sein, um die Gefahr von perifokalen Ödembildungen oder Durchblutungsstörungen herabzusetzen.

Der Patient liegt auf der schmerzenden Seite, wobei die zu inzidierende Rückenmarkshälfte oben liegt. Aufgrund der Absinktendenz auf die Gegenseite läßt sich das Rückenmark leichter am abgelösten Zackenband nach dorsomedial bewegen, sodaß der Vorderseitenstrang besser zu übersehen ist (mit Lupenbrille oder Operationsmikroskop bis zur Mittellinie). Insgesamt wird das Rückenmark weniger torquiert als bei der Bauchlage. Die monopolare oder bipolare Koagulation hat sich als weniger genau und ohne Vorteile erwiesen gegenüber der Durchschneidung mit einem speziellen Chordotomiemesser (Mazars), siehe Abb. 2.

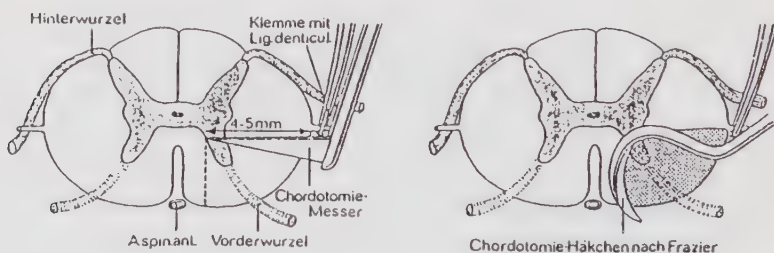


Abb. 2 Schematische Darstellung der Durchtrennung des Tractus spinothalamicus bzw. des Vorderseitenstranges. (Modifiziert nach WHITE u. SWEET, 1953)

(Piscol, K.: Die spinalen Schmerzoperationen, 1974 (103))

Das Operationsergebnis wird zweckmäßigerweise sofort am aufgeweckten Patienten überprüft. Reicht die Analgesiehöhe

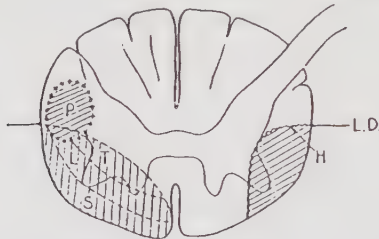
nicht aus, muß möglichst noch tiefer oder weiter nach ventral durchschnitten werden. Die Analgesiehöhe sollte mindestens bei D4-D5 liegen (Piscot). Gegebenenfalls muß zusätzlich der andere Vorderseitenstrang inzidiert werden.

Bei Mazars et al. war keine Operationsletalität bei 296 anterolateralen Chordotomien zu verzeichnen, bei Piscot beträgt sie 5% von 114 Chordotomien und bei Mansuy et al. 3,2%.

2.1.2. Die offene zervikale Chordotomie

Diese Art der Chordotomie wurde aufgrund ihrer hohen Mortalitätsrate von 7% bei Guillaume und 9,2% bei Schwarcz zugunsten des sichereren perkutanen Vorgehens aufgegeben, obwohl auf dieser Höhe die somatotopische Gliederung des Vorderseitenstranges sehr deutlich zu erkennen ist, siehe Abb. 3 und 4.

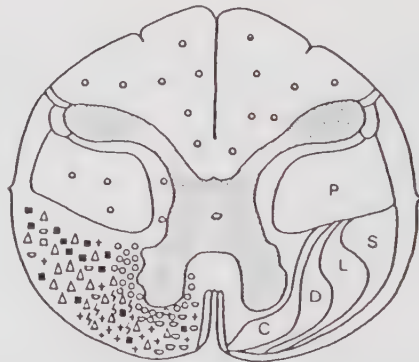
Abb.3 Cordotomies antéro-latérales. — Somatotopie du faisceau spinothalamique.



La moelle dorsale humaine H: Section nécessaire pour obtenir une analyse antéro-latérale de DIZ.

(Mazars, G. et coll.: Chirurgie de la douleur, 1976 (74))

Abb4. Scheme of the organization in the anterolateral column from the point of view of the surgeon operating for pain relief (PISCOL, 1973, 1974) (see also text)



- Δ Pain (Tr.spth)
- Pain (MAS?)
- Temperature
- + Touch
- Pressure
- Respiration
- C = Fibres from the cervical segments
- D = Fibres from the thoracic segments
- L = Fibres from the lumbar segments
- S = Fibres from the sacral segments
- P = Pyramidal tract

(Piscol, K.: Open spinal surgery for intractable pain, 1975 (104))

2.1.3. Die perkutane zervikale Chordotomie

Im Gegensatz zur offenen anterolateralen Chordotomie erhalten die Patienten nur eine Prämedikation und bei Bedarf Kurznarkotika. Die Prüfung des Analgesieniveaus intraoperativ am wachen Patienten muß auf jeden Fall gewährleistet sein. Der Kopf des Patienten wird in leicht überstreckter Haltung fixiert. In Höhe C1-C2 wird mittels einer Punktionskanüle in Lokalanästhesie der Subarachnoidalraum punktiert und der Ausfluß von Liquor schnell gestoppt. Die Lage der Nadel läßt sich unter dem Bildwandler mittels Pantopaque- und Luftkontrast kontrollieren. Durch die Hohlnadel wird die Elektrode eingeführt. Die Kontrolle der Elektrodenlage erfolgt durch Impedanzmessung und letztendlich durch Stimulation mit höheren Frequenzen (75-100 Hz und 0,1-2,0 V). Spürt der Patient Parästhesien im zu analgesierenden Gebiet, wird die Läsion schrittweise mit Radiofrequenzstrom von 30-40 mA (Tasker) oder 70-80 mA (Taren) und 20-25V durchgeführt. Dabei wird der Analgesieeffekt nach jedem Schritt geprüft.

Die Letalität bei zervikaler perkutaner Chordotomie ist relativ hoch. Bei Mattmann beträgt sie in seiner kollektiven Statistik an 1300 Patienten 2-3%.

Der Vorteil des perkutanen Vorgehens im Vergleich zur offenen Chordotomie besteht darin, daß ein größerer operativer Eingriff mit Operationswunde und Eröffnung des Liquorraumes vermieden wird, was gerade bei geschwächten und alten Patienten wichtig ist. Außerdem kann diese Technik gut wiederholt werden, ein Umstand, der vor allem für Patienten mit malignen, sich ausbreitenden Krankheitsprozessen und längerer Lebenserwartung von Bedeutung ist.

Bezüglich der Komplikationen gilt das für die Chordotomie allgemein Gesagte.

Gildenberg variiert die perkutane zervikale Chordotomie dahingehend, daß er tiefer (unterhalb von C4-C5) eine Nadel-elektrode diagonal durch den Discus intervertebralis zu dem gegenüberliegenden Vorderseitenstrang einführt. Die Pia mater spaltet er mit einem Elektrodenstylett. Die Läsion setzt er

in beschriebener Weise.

Bei 20% seiner Patienten führte Gildenberg in dieser Technik bilaterale Chordotomien durch. Nie war eine respiratorische Störung zu beobachten. Zur Verifizierung nahm er bei den letzten 70 Chordotomiepatienten Lungenfunktionsprüfungen vor. Die Reaktion auf CO_2 -Inhalation blieb auch normal. 10 Patienten klagten über vorübergehende Blasendysfunktion und in 3 Fällen trat eine andauernde motorische Schwäche im kontralateralen Bein auf.

2.2. Nervenblockaden

2.2.1. Periphere Nervenblockaden

Generell ist zwischen temporären und irreversiblen Nervenblockaden zu unterscheiden. Die Wahl der jeweiligen Methode richtet sich daher hauptsächlich nach der voraussichtlichen Dauer der Erkrankung bzw. des Schmerzleidens.

Gegenwärtig finden vor allem zwei Verfahren Anwendung: die Verödung mit neurolytischen Substanzen wie z.B. Alkohol und die Vereisung.

Ashby et al. injizieren 2 ml 1%iges Lignocain lateral des M. sacrospinalis im betreffenden Interkostalsegment. 67,3% von 49 Patienten verspürten Schmerzfreiheit über mindestens 3 Monate, die meisten länger als ein Jahr. Vermutlich wird durch die Injektion ein "circulus vitiosus" zwischen Schmerz und Muskelspasmus im Rahmen eines "spinalen Reflexschmerzsyndroms" unterbrochen.

Periphere neurolytische Nervenblockaden mit Phenol oder Alkohol sollte man nur dann anwenden, wenn die Schmerzregion durch rein sensorische Nerven versorgt wird, da sonst motorische Defizite entstehen. Bei Metastasen, die Interkostalnerven oder Hirnnerven befallen, sind neurolytische Nervenblockaden dennoch indiziert (Arnér).

Eine vorübergehende Nervenblockade wird durch die sogenannte Cryoanalgesie erreicht, da hierbei nur eine Axototomie und keine Neuropraxie erzielt wird. Lloyd et al. testen mit einer Probeinjektion eines Lokalanästhetikums die nach der eigentlichen Prozedur zu erwartende Wirkung an vorgesehener Stelle. Intraoperativ benutzen sie einen an das Cryosystem gekoppelten Stimulator, um die richtige Position des Cryostabes zu überprüfen. Die Vereisung erfolgt mit Nitrooxyd bei -60°C über 2 Minuten. Die destruktive Wirkung wird durch wiederholte Anwendung erhöht. Gewöhnlich werden zwei Vereisungen durchgeführt, zwischen denen man die Stabtemperatur wieder auf 0°C ansteigen läßt. Die Zeitspanne der Schmerzerleichterung bei Interkostalschmerzen rangiert

zwischen 14 und 147 Tagen. 10 von 12 Patienten waren schmerzfrei.

Maiwand und Makey verwenden die offene Cryoanalgesie am Ende von Thorakotomien, um die Heilung für die Patienten schmerzfrei und problemloser zu gestalten. Nach 3-6 Monaten ist der Nerv wieder regeneriert und die normale Sensibilität wiederhergestellt.

2.2.2. Spinale Nervenblockaden

Mit einem intrathekalen Block bewirkt man eine Rhizotomie. Neurolytische Substanzen wie Phenol oder Alkohol werden in den Subarachnoidalraum injiziert. Sie zerstören bei sachgemäßer Lagerung nur die Hinterwurzeln und bewirken eine Anästhesie der jeweiligen Dermatome. Bei exakter Durchführung kann die motorische Funktion erhalten werden. Die hauptsächliche Komplikation - abgesehen von der möglichen Ausschaltung der Vorderwurzeln - ist die Arachnoiditis, die ihrerseits starke Schmerzen verursacht.

Ein geringeres Risiko birgt der epidurale neurolytische Block. Dennoch kann auch hier bei ein nicht mehr zu tolerierendes sensorisches Defizit und vorübergehende Muskelschwäche auftreten, die Blasen- und Rektumsphinkterfunktion beeinträchtigt werden.

Die vorstehend beschriebenen Verfahren eignen sich allenfalls zur Behandlung exzessiver bilateraler Schmerzen, da sie sehr risikobehaftet sind und die Chordotomie insgesamt bessere Erfolgsraten aufzuweisen hat.

Tab.4 Global results of phenol blocks as reported in literature

Author	number	complete relief	partial relief	no relief
MAHER	253	178		75
PAPO	213	83	54	76
CIACOTTO	207	162	19	26
STOVNER	151	116		35
TANK	100	48	18	34
SWERDLOW	100	44	30	26
MARK	87	24	26	37
WHITE	63	31		32
BALL	51	21	17	13
LOURIE	47	6	14	27
BROWN	38	30		8
GORDON	37	19	13	5
KENNEDY	15	10		5
BERRY	3	0	0	3
Total	1365	772	191	402
%	100	56,5	13,9	29,6

(Kühner, Assmus: Intrathecal application of phenol in the treatment of intractable pain, 1975 (53))

Temporärer Natur ist die epidurale Morphinapplikation. Der dazu notwendige Epiduralkatheder kann nach letzten Erfahrungen (Arnér) komplikationslos mehrere Monate an Ort und Stelle belassen werden. Man muß den Katheder in einiger Entfernung von der Punktionsstelle subkutan verlegen, um das Risiko lokaler Infektion möglichst klein zu halten. Nach einer Injektion von 2-4 mg dauert die Schmerzunterbrechung 4-36 Stunden an (Magora et al.). Die Sensibilität und Motorik werden nicht beeinträchtigt. Davies et al. berichten jedoch von schweren Atemdepressionen relativ spät nach der Injektion. Boas, Scott & McCfure, Hales beobachteten außerdem starkes Jucken und Blasenfunktionsstörungen.

2.3. Stereotaktische Operationen

Der Begriff "gezielte Operationen" tauchte zum ersten Mal 1933 in einer Publikation Kirschners auf. Kirschners Apparat und seine Methode der Zerstörung des Ganglion Gasseri erfüllte schon alle Kriterien späterer stereotaktischer Operationen.

1954 entdeckten Spiegel et al., daß Schmerzsignale durch die spinoretikulären Bahnsysteme dem Gehirn übermittelt werden. Die darauf folgenden stereotaktischen Operationen hatten daher die Unterbrechung des Tractus spinothalamicus und angrenzender Teile des spinoretikulären Systems zum Ziel. Spiegel und Wycis zeigten außerdem, daß eine Läsion im dorsomedialen Thalamus mit gleichzeitiger Unterbrechung der thalamo-frontalen Verbindungen die emotionale Reaktion des Patienten auf Schmerz verringert.

Mittels ausgedehnter Stimulationsstudien an chronisch implantierten Schmerzpatienten konnten Nashold et al. eine genaue somatotopische Repräsentation der einzelnen Körperglieder im dorsolateralen Mesenzephalon nachweisen und affektive und emotionale Reaktionen durch Reizung in oder nahe des zentralen periaquäduktalen Graus erzeugen.

Die stereotaktischen Methoden wurden in den letzten Jahren kontinuierlich verbessert. Man setzte Läsionen im Mittelhirn an den verschiedensten Stellen oder auch kombiniert miteinander und versuchte, die Komplikationen möglichst zu reduzieren.

2.3.1. Die spinothalamische mesenzephalische Traktotomie

Spiegel¹ und Wycis¹ erste stereotaktische Operationen im Mittelhirn erstreckten sich auf den lateralen spinothalamischen Trakt, den quintothalamischen Trakt und das diffuse spinoretikuläre System in Höhe der hinteren Kommissur. Die Elektrodensonde wurde dabei in dorsoventraler Richtung in das Mesenzephalon eingeführt. Vorher erfolgt eine transkortikale Punktion durch ein parieto-okzipitales Trepanationsloch.

Nashold et al. dagegen benutzen einen anterioren Zugang, da so die Elektrode durch das Tegment in rostrokaudaler Richtung parallel zu den aufsteigenden sensorischen Bahnen eingeführt werden kann. Ein Nachteil besteht darin, daß mehrere Punktionen ausgeführt werden müssen, wenn mehrere Läsionen nebeneinander geplant sind. Das ventrale Tegment wird auf jeden Fall eher geschont als dies beim posterioren Zugang möglich ist.

In nachstehender Übersicht sind die technischen Daten der verschiedenen Autoren zusammengefaßt.

Stereotaxic technique for mesencephalotomy localization and lesion data

	Spiegel-Wycis	Leksell	Nashold	Orthner	Amano
mm posterior to post. comm.	2-3	3-3.5	5	0	14 mm p. coronal plane 5-6
mm below post. comm.	0-3.5	2-2.5 below mid. pt. aqueduct 5-7	5	0	5-6
mm distance mid. sagittal lesion	5.5-9.5	5-7	5-10	7.5	5
	anodal direct curr. 10 mA	65° C	70-72° C	30 mA, 30 sec	80 mA
lesion time (s)	60	20-30	30	30	120
type lesion probe	3 mm stylet string	HF thermistor	thermistor Hz 500K (H.F.)	stylet string Hz 500K (H.F.)	bipolar concentric electrode. 2 mm dia. interelectrode distance 2-3 mm

(Nashold, B.S., Jr.: Brainstem stereotaxic procedures, 1982 (89))

Ergebnisse:

Spiegel und Wycis geben für 72% ihrer Patienten postoperativ Schmerzfreiheit an, im Langzeitverlauf jedoch nur für 31%.

Bei Nashold et al. sind 5 von 15 Patienten als nicht gebessert zu registrieren. Die mittlere Beobachtungszeit betrug 18 Monate.

Die Operationsletalität: beläuft sich bei Spiegel und Wycis auf 7,4%, bei Nashold auf 0% und bei anderen Autoren im Durchschnitt auf 3-5%.

Komplikationen:

Postoperativ werden beobachtet thermale Anästhesien und Dysästhesien teils im, teils außerhalb des Analgesiegebiets; außerdem motorische Störungen, die sich in Muskelschwäche, Spastik, Intentionstremor und Ataxie im kontralateralen Bein äußern können, die aber überwiegend passagerer Natur sind.

Gravierender manifestieren sich die Veränderungen an den Augen. Bei allen Patienten Nasholds trat das sog. Parinaud-Syndrom auf, d.h. es ist den Betroffenen nicht mehr möglich, mit beiden Augen nach oben zu blicken. 6 Patienten konnten nicht mehr nach unten schauen und 13 Patienten litten unter vorübergehendem Nystagmus retractorius. Anfangs treten meist Diplopie und bilaterale Miosis auf, wobei die Pupille auf der Seite der Läsion 1-2 mm weiter geöffnet ist. Jedoch werden diese Veränderungen von den Betroffenen eher selten als störend empfunden, da die erlangte Schmerzerleichterung die Nachteile überwiegt.

Die Abbildungen geben einen Überblick über die durch elektrische Stimulation im Mesenzephalon auszulösenden Reaktionen.

Electrical Stimulation of the Mesencephalon

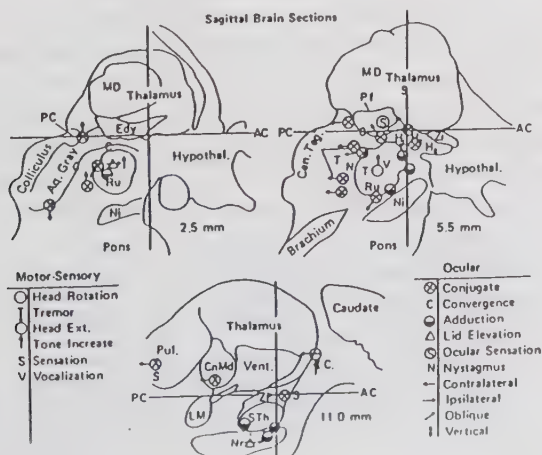


Abb. 5 Motor and ocular effects resulting from mesencephalic stimulation in man undergoing stereotaxic operations.

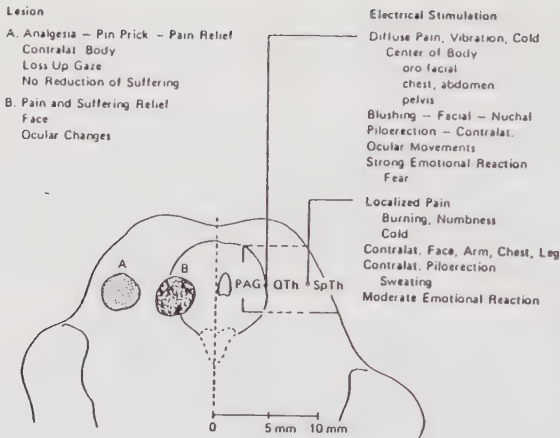


Abb. 6 The effects produced by a stereotaxic lesion and electrical stimulation in the human mesencephalon. Mesencephalon at level of superior colliculus. PAG = periaqueductal grey, QTh = quintothalamic tract, SPTH = spinothalamic tract

(Nashold, B.S., Jr.: Brainstem stereotaxic procedures, 1982 (89))

Indikation:

Die Mesenzephalotomie eignet sich zur Behandlung von uni-/bilateralen Malignomschmerzen im Kopf-, Nacken- und Armbereich, also bei Schmerzzuständen, die aufgrund ihrer Lage überhaupt schwer zu beeinflussen sind.

Die Methodik Mazars et al.:

Spiegel, Wycis und Nashold bemühen sich, mit der intraoperativen Elektrostimulation eine Schmerzantwort oder mindestens eine Parästhesie im kontralateral liegenden Schmerzgebiet zu erzielen, und setzen daraufhin die Läsion. Im Gegensatz dazu kommen Mazars et al. zu dem Ergebnis, daß diese Reaktionen Zeichen für eine Läsion im lemniskalen Bahnsystem seien und nicht für eine Läsion des spinothalamischen Trakts sprächen. Mazars achtet darauf, durch die intraoperative Stimulation mit einer monopolaren Elektrode keine Schmerzempfindung auszulösen, sondern ein angenehmes Wärmegefühl im zu analgesierenden Gebiet zu erzielen. Er stimuliert mit 50 Hz und 2,5 V. Postoperativ zeigten sich bei seinen Patienten keine Parästhesien oder Hyperpathien, abgesehen von einem Viertel, bei dem Störungen der Diskriminationsfähig-

keit und Parästhesien auftraten. Mazars betont die Notwendigkeit, das Aquädukt mit 40%igem Lipiodol oder Dimer X radiologisch darzustellen und die Koagulation mit möglichst geringer Stromstärke durchzuführen, um die Läsion und den angrenzenden Demyelinisationsbereich so klein wie möglich zu halten. Er entwickelte seit 1958 im Laufe von 71 stereotaktischen spinothalamischen Operationen im Mesenzephalon folgende somatotopische Gliederung des spinothalamischen Trakts, ähnlich der des Lemniscus medialis.

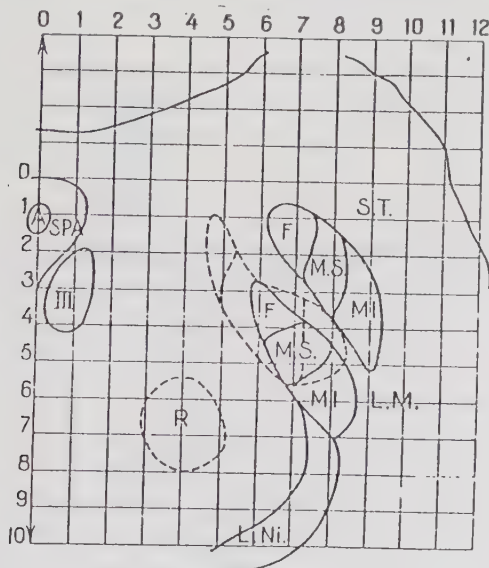


Abb.7 - Situation du faisceau spino-thalamique dans le plan de pénétration de l'électrode, 4 millimètres en arrière de la commissure blanche postérieure. — S.T.: faisceau spino-thalamique avec les continents céphaliques (F.), scapulaire (M.S.) et lombo-sacré (M.I.); L.M.: lemniscus médian et, en pointillé, sa topographie sur un plan plus antérieur de 2 mm; A et SPA: aqueduc et substance periaqueductale

(Mazars, G. et coll.: Chirurgie de la douleur, 1976 (74))

Mazars verzeichnet bei 192 Operationen, bei denen der Zielpunkt 3-5 mm hinter der Commissura posterior lag, nur zwei Fälle mit Parinaud-Syndrom, 15 Fälle von Konvergenzlähmung und bei 5 Patienten spontanen Nystagmus. Augenmuskellähmungen traten bei drei Patienten auf und in sechs Fällen kontralaterale Mydriasis (s. Abb. 8).

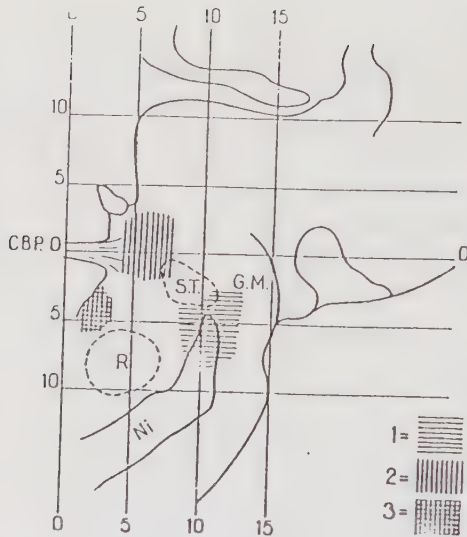


Abb. 8 — Rappports du faisceau spino-thalamique avec les voies oculo-motrices : localisation des lésions correspondant aux différents troubles oculomoteurs. 1: Nyctagmus spontané; 2: Troubles oculomoteurs et Parinaud; 3: Troubles de la convergence et diplopie

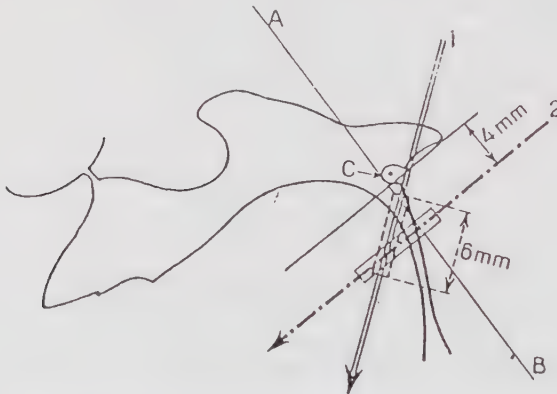


Abb. 9 — Tractotomie pédonculaire. — C: commissure blanche postérieure; A-B: tangente à la première portion de l'aqueduc; 1: trajet de l'électrode dans nos 30 premiers cas; 2: trajet de l'électrode dans les 192 cas suivants.

(Mazars, G. et coll.: Chirurgie de la douleur, 1976 (74))

Die Langzeitergebnisse von 22 kontrolliert beobachteten Patienten bewegen sich zwischen 3-29 Monate während Schmerzfreiheit, abgesehen von zwei Fällen, in denen die Schmerzen zurückkehrten bzw. auf der anderen Seite auftraten.

2.3.2. Rostrale mesenzephalische Retikulotomie

Hier liegt der Zielpunkt zwar auch im Mittelhirn, jedoch weitaus medialer als bei der lateralen spinothalamischen Traktotomie Spiegels, und grenzt an das periaquäduktale Grau.

Amano et al. verwenden einen Todd-Wells Rahmen. Sie setzen das Trepanationsloch soweit frontal, daß der Colliculus superior und das Pretectum keinesfalls berührt werden. Auf diese Weise kann das Auftreten des Parinaud-Syndroms verhindert werden. Die stereotaktischen Koordinaten lauten: 14 mm hinter dem Mittelpunkt der CA-CP Linie, 5 mm unterhalb der CA-CP Linie und 5 mm lateral des Aquädukt-Zentrums. Intraoperativ wird vor der Koagulation durch Elektrostimulation starke Schmerzempfindung im kontralateral zu analgesierenden Schmerzgebiet ausgelöst.

Von den 15 Patienten Amanos wurden 11 gut gebessert, wobei sich die Beobachtungszeit von 3 Monaten bis zu 5 Jahren erstreckte. Amano gibt keine Komplikationen an und verzeichnet keine Letalität. Er wandte das Verfahren bisher nur beim Thalamus-Syndrom und Karzinomschmerzen an.

2.3.2. Spinothalamische metenzephalische pontine Traktotomie

Die Technik beschreibt Barberá folgendermaßen:

Das ~~Tr~~panationsloch wird frontal angelegt und ein Kontrast-ventrikulogramm angefertigt. Um die Umrisse des Aquädukts und des vierten Ventrikels genau darstellen zu können, führt er eine anteroposteriore und laterale stereotaktische Tomographie durch. Der Zielpunkt liegt in Hitchcocks Hirnstamm-Karte auf der Ebene, die den Grund des vierten Ventrikels senkrecht schneidet, 6 mm vor dem Ventrikelgrund und 7,5 mm seitlich der Mittellinie.

Unter fluoroskopischer Kontrolle wird eine monopolare Elektrode durch ein okzipitales Bohrloch zum Zielpunkt vorgeschoben. Es wird dann koaguliert, wenn durch Elektrostimulation Parästhesien bzw. starker Schmerz im kontralateral zu analgesierenden Gebiet auszulösen sind. Barberá verwendet zur Stimulation 0,1 msek. dauernde Rechteckströme von 1,5-4,5 V und 60-100 Hz. Da er bei der Radiofrequenzkoagulation über keine Temperaturkontrolle verfügt, benutzt er als Vergleichsparameter eine Läsionsgröße von 2-3 mm Durchmesser, wie man sie bei einer Radiofrequenzkoagulation in Eiweiß erhält.

Barberá behandelte fünf Patienten mit Karzinomen im oberen Brust-, Arm- und Nackenbereich. In allen Fällen ließen die Schmerzen postoperativ signifikant nach. Allerdings verstarben die Patienten meist ein paar Monate später aufgrund ihres fortgeschrittenen Krebsleidens.

Es wurden keine Augen-, Respirations- oder sonstige Störungen beobachtet, abgesehen von leichten Dysästhesien im Analgesiegebiet.

Barberá empfiehlt diese Operation bei Patienten mit chronischen Schmerzen im oberen Brust-, Arm- und Nackenbereich.

2.3.4. Die Thalamotomie

Eingriffe am Thalamus werden an drei verschiedenen neuronalen Systemen vorgenommen. Nach Hassler unterscheidet man erstens zwischen einem unspezifischen, subkortikalen, subthalamischen System, das aus den sekundär sensomotorischen Kernen besteht, zweitens einem spezifischen, kortikalen, thalamischen System, das die primär sensomotorischen Kerne beinhaltet und in dem der Tractus spinothalamicus endet, und drittens dem thalamo-frontalen oder trunco-thalamischen System, das für die affektive Komponente des Schmerzerlebens verantwortlich ist.

In nachstehender Übersicht habe ich die drei Systeme ihren anatomischen Korrelaten zugeordnet, wobei sich in der Literatur nicht alle Autoren über die Zuordnung der einzelnen Kerne einig sind.

1. Unspezifisches subkortikales subthalamisches System sekundär sensomotorische Kerne:

N. ventrocaudalis
N. ventrocaudalis parvocellularis { Lemniscus medialis
Tr. spinothalamicus
Lamella medialis
Nuclei intralaminares: N. centralis lateralis
N. centromedianus
N. parafascicularis
N. limitans

2. Spezifisches kortikales thalamisches System

primär sensomotorische Kerne:

basaler Teil des thalamischen, sensorischen Schaltkerns:

N. ventralis posteromedialis (VPM) { Lemniscus medialis
N. ventralis posterolateralis (VPL) }

3. Thalamo-frontales, truncothalamisches System

N. dorsomedialis

Lamella interna

anteriore Thalamuskern → limbischer Kortex

Als Beispiel sei hier das Verfahren nach Hitchcock und Teixeira beschrieben:

Der Eingriff wird am sitzenden Patienten unter Lokalanästhesie evtl. kombiniert mit Kurznarkotika. Das Verhältnis von frontalem zu posteriorem Zugang ist bei Hitchcock und Teixeira 36:13. Das Ziel ist mit Koordinatenangaben aus dem Talairach-Atlas beschrieben: Zentromediane Läsionen werden am Schnittpunkt einer Linie senkrecht zur Mitte des hinteren Drittels der AC-PC-Linie gesetzt, die einen Punkt - parallel zur AC-PC-Linie - im unteren Achtel der Thalamushöhe kreuzt, und 8-10 mm von der Mittellinie entfernt. Die basale Thalamotomie wird 1 mm vor der hinteren Kommissur in Höhe der AC-PC-Linie und 1 mm unterhalb vorgenommen. Dabei variieren die Läsionslokalisationen 7-12 mm von der Mittellinie entfernt, da sie im Unterschied zur zentromedianen Thalamotomie nach somatotopischen Gesichtspunkten ausgewählt werden. Die Nervenfasern aus caudalen Körperabschnitten liegen dabei exzentrisch, die der oberen Körperbereiche zentral. Die basale Thalamotomie nach Hitchcock und Teixeira beinhaltet Läsionen im N. ventralis parvocellularis und N. limitans, die zentromediane Thalamotomie Koagulationen im Centrum medianum. Andere Autoren beziehen weitere Kerne in die Operation mit ein.

Zur Kontrolle der Elektrodenplatzierung werden Hautimpedanz- und Stimulationsmessungen durchgeführt. Tasker veröffentlichte eine Karte über die durch Elektrostimulation auszulösenden Reizantworten (s. Abb.40 auf der nächsten Seite). Mit einem Radiofrequenz-Generator werden Rechteckimpulse von 1 msek. Dauer bei 0-10 V und 5-100 Hz erzeugt. Um eine Läsion von 4,5-15 mm³ zu produzieren, wird die Temperatur an der Sondenspitze 30-60 Sek. lang auf 75°C erhöht. Hierbei muß auf mögliche Effekte wie Somnolenz, Verwirrtheit oder Lähmungen geachtet und die Koagulation sofort gestoppt werden.

Eine vielleicht zukunftsweisende Methode der stereotaktischen Läsion entwickelte Leksell mit der sog. γ -Thalamotomie. Das ist eine unblutige Technik, da ein Trepanationsloch nicht mehr notwendig ist. Leksell verwendet Co⁶⁰- γ -Strahlen mit einer Energiedosis von 16-18 krad (s. Abb.41).

Results of Thalamotomy by Region

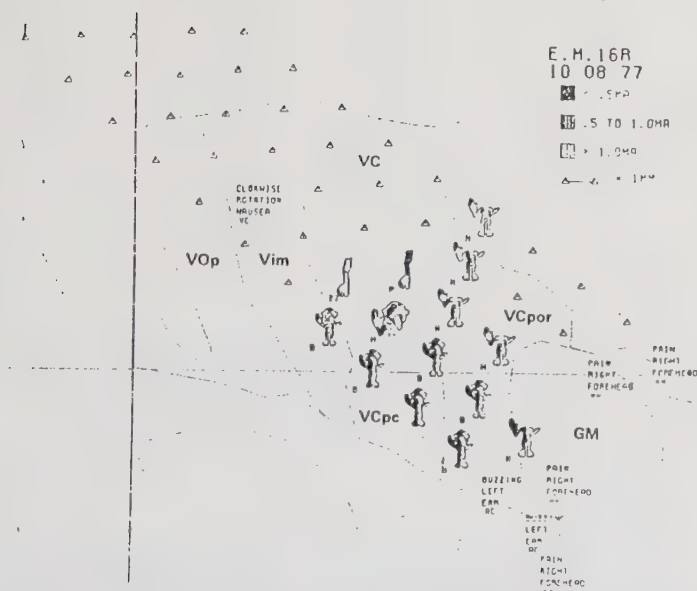


Abb. 10 Unedited computer-generated plot of the results of right-sided brainstem stimulation in patient EM, all points lying in the same sagittal plane 16 mm from the midline. Based on plates from the atlas by Schaltenbrand and Bailey (Introduction to stereotaxis with an atlas of the human brain, Thieme, Stuttgart 1957), computer corrected to match the patient's intercommissural length. Triangles mark unresponsive sites, AC = buzzing in contralateral ear, B = feeling of burning, H = of heat, P = paresthesias, VA = sense of counterclockwise rotation, ?? = unspecified response, VOp = N. ventralis oris posterior, Vim = N. ventralis intermedius, VC = N. ventrocaudalis, VCpc = N. ventrocaudalis parvocellularis, VCpor = N. ventrocaudalis portae, GM = medial geniculate. Double asterisks indicate where electrical stimulation or mere advancement of the electrode caused pain in the ipsilateral forehead from stimulation of the pia-arachnoid. Depth of shading indicates threshold of response (see legend). The horizontal line indicates the anteroposterior commissure line; the vertical line is a perpendicular constructed on its center. Orientation: rostral to left, caudal to right, dorsal superiorly. Stimulation has been carried out near the lateral limits of the medial to laterally organized medial lemniscal homunculus in ventrocaudal nucleus giving rise to two leg points. Inferior and caudal to these points lie a series of points in posterior VC, VCpor, and GM where stimulation elicited a feeling of burning or heat. These responses, sandwiched between the lemniscal homunculus on the one hand and the pia-arachnoid and auditory portion of the medial geniculate (buzzing in contralateral ear) on the other arise from stimulation of the spinothalamic relay nucleus. Not only is the quality of the stimulation-induced response here different from that of the lemniscal relay but also there is somatotopographical discontinuity particularly evident with the face points, which, if they belonged to the lemniscal homunculus, would lie much more medially. Although it is difficult to make out somatotopographical arrangement from such a small number of points, there is a suggestion of a transition in the responses from head to foot as the brainstem is traversed interoposteriorly. Comparison of the locations of the pie points with the anatomical outlines suggests a 2-3 mm displacement of this patient's brainstem rostrally and superiorly compared with the location predicted from the radiological studies.

(Tasker, R.R.: Thalamic stereotactic procedures, 1982 (136)

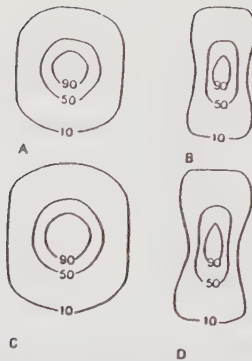


Abb. 44 Dose distribution calculated for Co^{60} gamma beams. Frontal (A, C) and sagittal (B, D) sections. Beam cross section of 3×5 mm (A, B) and of 3×7 mm (C, D) at the target. The numbers indicate the relative dose in %

(Forster et al.: Gammathalamotomie bei therapieresistenten Schmerzen, 1972 (33))

Ergebnisse:

Hitchcock und Teixeira berichten von 7 Krebspatienten, von denen vier sechs Monate nach basaler Thalamotomie noch schmerzfrei waren. Nach zentromedianer Thalamotomie bei 8 Krebspatienten verzeichnen sie keine Wiederkehr der Schmerzen bei einer Beobachtungszeit von drei Wochen bis 42 Monaten. Sechs dieser Patienten hatten jedoch eine zentromediane Thalamotomie kombiniert mit einer Läsion im N. ventrocaudalis parvocellularis, da sie unter Kopf- und Nackenschmerzen litten.

Von Bettag wurden 66 basale Thalamotomien vorgenommen, von denen nur ein Drittel längerdauernde Schmerzerleichterungen bewirkten. Bei 44 Patienten wurde die basale mit der zentromedianen Thalamotomie kombiniert, wobei sich eine Schmerzurückkehrate von nur 16% bei einer Beobachtungszeit von 1-8 Jahren ergab.

Sugita et al. hatten die besten Ergebnisse bei insgesamt 58 Patienten mit bilateralen zentromedianen Thalamotomien.

In einer Langzeitstudie (bis 14 Jahre) geben Mundinger und Becker folgende Ergebnisse an:

	Patienten- zahl	Mißerfolge
basale Thalamotomie	6	1
zentromed. „	7	2
kombinierte „	9	2

Tasker stellte eine Tabelle gesammelter Ergebnisse verschiedener Autoren zusammen:

Results of Thalamotomy by Region

Thalamotomy for pain – mixed series of somatic and dysesthetic pain

Lesion site	Unilateral	Bilateral	No. of cases	Pain relief		Complications
				Good	Fair	
DM	✓		1	–	–	–
VC	✓		11	1	–	–
VC + IL	✓		19	8*	–	3
			30	9*	–	3
IL	✓		20	4	–	–
IL	✓ and	✓	10	8*	–	–
IL + VC	✓		19	8*	–	3
			49	20*	–	3

* = brief survival. DM = dorsomedian nucleus, VC = ventrocaudal complex or radiations, IL = intralaminar nuclei, centre médian, and parafascicular nucleus, H = hypothalamus, PU = pulvinar, MES = spinothalamic mesencephalotomy, RET = reticulothalamic mesencephalotomy immediately medial to spinothalamic tract

(Tasker, R.R.: Thalamic stereotactic procedures, 1982 (136))

Läsionen im N. parafascicularis, Centrum medianum und in den intralaminaren Kernen haben im Unterschied zu Läsionen im spezifischen kortikalen Thalamus keine Sensibilitätsverluste in der kontralateralen Körperhälfte zur Folge. Außerdem werden durch Läsionen in oben genannten Kernen das subjektive Schmerzgefühl und die "Schmerzaufmerksamkeit" verringert. Bei medikamentenabhängigen Patienten versagen erfahrungsgemäß thalamische Interventionen.

Das nach einiger Zeit vielfach beobachtete Wiederauftreten der Schmerzen ist wohl dadurch zu erklären, daß es unmöglich ist, ausreichend viele Fasern zu unterbrechen, ohne sehr nachteilige Nebenwirkungen zu verursachen. Selbst in den basalen Thalamuskernen existieren mannigfaltige Querverbindungen zu anderen Thalamusanteilen und angrenzenden Strukturen, sodaß eine radikale Leitungsbahnzerstörung ausgeschlossen ist, und die unversehrten Fasern im Lauf der Zeit die Schmerzübermittlung übernehmen können.

Komplikationen:

Vorübergehende Bewußtseinsstörungen wie Verwirrtheit oder Gedächtnisverlust sind postoperativ sehr häufig. Ferner können Augenstörungen wie Diplopie, Parinaud-Syndrom oder horizontaler Nystagmus vor allem bei der basalen Thalamotomie auftreten, von denen das Parinaud-Syndrom irreversibel ist. Auch Muskellähmungen, Ataxien, Thermanästhesien und Hypästhesien bilden sich in vielen Fällen nicht mehr zurück. Gerade nach Läsionen im unspezifischen subkortikalen System wurden bleibende Par- und Dysästhesien beobachtet.

Bei bilateralen und kombinierten Eingriffen erhöht sich die Komplikationsrate ungefähr auf das 1,5-fache.

Läsionen im fronto-thalamischen System haben auch bei unilateralem Vorgehen oft Apathie und Initiativverlust zur Folge. Außerdem kann es zu tiefgreifenden Persönlichkeitsveränderungen kommen.

Die Letalitätssrate beträgt insgesamt 0-7%.

Indikation:

Patienten mit chronischen Schmerzen maligner Genese, die im Kopf- und Nackenbereich und/oder bilateral lokalisiert sind, eignen sich nach übereinstimmender Meinung am besten für die uni-/bilaterale subkortikale Thalamotomie. Beste Erfahrungen wurden mit bilateralen Koagulationen im Centrum medianum, N. parafascicularis und der intralaminaren Kerne gemacht. Es hat sich gezeigt, daß Läsionen in unspezifischen subkortikalen Thalamuskernen, die ja eng mit dem retikulären, aktivierenden System verbunden sind, im allgemeinen wirksamer sind als Läsionen, die sich nur auf die spezifischen sensomotorischen Thalamuskern beschränken.

Bei Schmerzzuständen benigner Genese beträgt die Rückfallrate nach einem Jahr mindestens 30%, obwohl meist kombinierte Läsionen im spezifischen und unspezifischen Thalamus durchgeführt werden.

2.3.5. Die posteromediale Hypothalamotomie

Ursprünglich wurde die posteromediale Hypothalamotomie von Sano 1962 entwickelt, um aggressive Verhaltensstörungen zu beeinflussen. Sano und Fairman wandte die Technik erstmals 1971 bei Patienten mit Karzinomschmerzen an. Als Begründung führen die Autoren an, daß langsam leitende A δ -Fasern zum posteromedialen Hypothalamus ziehen, und Schmerzreize immer deutliche sympathische Wirkungen haben. Daraus könnte geschlossen werden, daß Verbindungen zwischen dem sympathischen oder dem ergotropen Teil des Hypothalamus existieren, deren Durchtrennung die wechselseitige Beeinflussung beider Systeme unterbindet.

Fairman entwickelte die Theorie des Modulierenden Periventriculären Hypothalamischen Systems (s. Abb. 12). Demnach ist der Hypothalamus der größte Knotenpunkt des autonomen Nervensystems und des retikulären Hirnstamms, und außerdem das Integrationszentrum für sensomotorische und motosensorische Systeme und der primäre Regulator für Rindenaktivität und Bewußtsein.

THALAMIC AND HYPOTHALAMIC STIMULATION

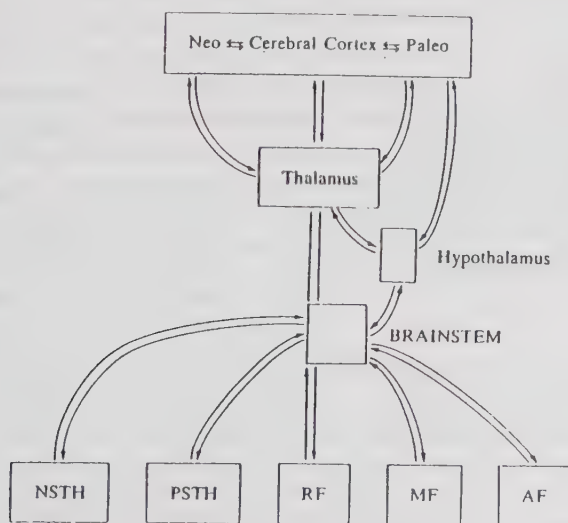


Abb. 12. Theory of the Modulating Periventricular Hypothalamic System (MPHS). NSTH, neospinothalamic; PSTH, paleospinothalamic; RF, reticular formation; MF, motor fibers; and AF, autonomic fibers

(Fairman, D.: Thalamic and hypothalamic stimulation, 1979 (28))

Technik:

Sano nimmt die Operation unter Lokalanästhesie oder Neuroleptanalgesie zuerst kontralateral zur Seite der Schmerzen vor. Nach 7-10 Stunden kann die Prozedur zur Erzielung eines noch besseren Ergebnisses auf der anderen Seite wiederholt werden. Sind die Schmerzen im Kopf- und Nackenbereich lokalisiert, ist eine ipsilaterale Läsion indiziert.

Zur Kontrolle der Nadelspitzenlage stimuliert Sano 5-10 Sek. lang mit Rechteckimpulsen von 10-20 V und 100 Hz mit einer bipolaren Nadelelektrode. Wenn der Blutdruck, die Atem- und Herzfrequenz steigen und sich die Pupillen maximal dilatieren, liegt die Nadelelektrode im posteromedialen Hypothalamus, 1-5 mm lateral der seitlichen Wand des dritten Ventrikels. In diesem "ergotropen Dreieck" werden Läsionen von 3-4 mm Durchmesser mit Radiofrequenzstrom von 2-3 W und 1000 Hz über jeweils 3-4 Min. gesetzt. Die Zielregion ist durch folgende Koordinaten zu beschreiben: 1 mm vor dem Mittelpunkt der Interkommissurallinie bis 2 mm dahinter, 2-4 mm unter der Interkommissurallinie und 2 mm lateral der seitlichen Wand des dritten Ventrikels.

Mayanagi et al. führen die Elektrode neuerdings in einem weiteren Winkel zur Interkommissurallinie ein, um eine Verletzung des mamillothalamischen Trakts zu vermeiden. Die Zielpunkte sind dabei 5-6 mm von der Mittellinie entfernt (s. Abb. 13). Die analgetische Wirkung vermutet er in der Freisetzung von Enkephalinen und Endorphinen im periventriculären und periaquäduktalen Grau sowohl nach Stimulation als auch nach Koagulation.

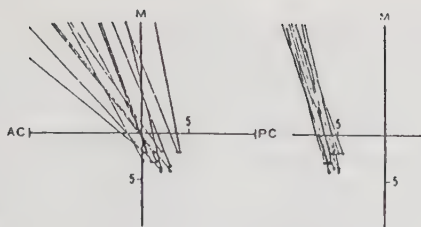


Abb. 13 Posteromedial hypothalamotomy for intractable pain. Target points and electrode tracks.

(Mayanagi et al.: Stimulation and coagulation of the posteromedial hypothalamus..., 1982 (71))

Ergebnisse:

Fairman berichtet bei 70% seiner 12 Krebspatienten von andauernder Schmerzbesserung.

Sano veröffentlichte Resultate von 17 Patienten, von denen 13 an bösartigen Tumoren, 2 an Kausalgie und 2 an postherpetischen Neuralgien litten. 11 Patienten gaben auch nach längerer Verlaufskontrolle gute bis sehr gute Schmerzerleichterung an, die übrigen waren leicht gebessert. Die Sensibilität im Analgesiegebiet wurde nicht beeinträchtigt.

In der Studie von Manayagi et al. wird von 9 Patienten mit bösartigen Tumoren berichtet, von denen alle nach unilateraler Koagulationen gute Ergebnisse während ihrer restlichen Lebenszeit aufwiesen, die durchschnittlich 6 Monate betrug.

Komplikationen:

Die Letalitätsrate war bei allen Autoren 0%. Komplikationen wurden nicht angegeben.

Indikation:

Die besten Ergebnisse zeigten sich bei Patienten mit Schmerzen maligner Genese, wobei die Lokalisation keine Rolle spielte.

Bei benignen Schmerzleiden sind die Resultate angesichts der geringen Fallzahlen nicht zu interpretieren.

2.3.6. Die Pulvinarotomie

Das Pulvinar ist der größte thalamische Kern, seine Funktion ist jedoch weitgehend ungeklärt. Er wird durch multisensorische Stimuli sowohl aus kortikalen als auch aus subkortikalen Arealen aktiviert. Der medialste Anteil ist für die Integration visueller Informationen zuständig. Der sensorische Input gelangt überwiegend über den Vorderseitenstrang und die mesenzephalische Formatio reticularis zum lateralen Pulvinar. Eine Läsion im Pulvinar zieht jedoch keinen oder nur sehr geringen Sensibilitätsverlust nach sich und hat auch längerfristig positive Erfolge bei der Schmerzerleichterung aufzuweisen.

Der Zielpunkt liegt bei Yoshii et al. in der seitlichen Aufsicht 5 mm hinter und 4 mm über der hinteren Kommissur auf der CA-CP Linie; von frontal betrachtet, befindet sich der Punkt 15-18 mm lateral der Mittellinie.

In der Langzeitstudie von Yoshii gab es bei 15 von 19 Patienten, die länger als ein Jahr lebten, sehr gute bis zufriedenstellende Ergebnisse.

Die Pulvinarotomie eignet sich für Krebspatienten im terminalen Stadium mit Metastasen. Der Operationseffekt ist dem nach einer Läsion im zentromedianen Thalamuskern vergleichbar.

2.3.7. Die Cingulotomie

Die Cingulotomie wurde erstmals 1962 von Foltz und White beschrieben. Direkt über dem Corpus callosum wird unter Röntgenkontrolle eine Läsion im rostralen Cingulum gesetzt. Sie sollte vor der anterioren Kommissur liegen, da sonst Akinesie, Mutismus und Spontaneitätsverlust auftreten können. Wenn dies eintritt, sind vermutlich anteriore thalamische Bahnen getroffen worden. Es hat sich gezeigt, daß bilaterale kleine Läsionen bessere Langzeitergebnisse aufweisen als unilaterale. Die Abbildung zeigt die Faserverbindungen des rostralen Cingulums mit anderen Hirnstrukturen.

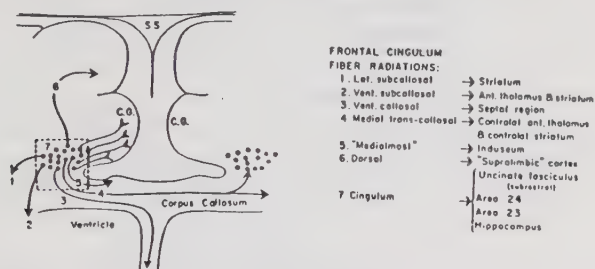


Abb 44: Coronal diagram to show rostral cingulum fiber radiations. (From Foltz, E. L., and White, L. E., Jr.: Rostral cingulotomy and pain "relief." In Knight, R. S., and Dumke, P. R., eds.: Pain. Boston, Little, Brown & Co., 1966. Reprinted by permission.)

Die Schmerzschwelle des Patienten wird nicht verändert, also keine Analgesie erzielt. Fragt man den Patienten, ob er noch Schmerzen spürt, antwortet er mit «ja». Er verhält sich jedoch so, als ob ihn die Schmerzen nicht kummerten. Der Intellekt und die Persönlichkeit des Patienten werden in der Regel nicht beeinflusst. Bemerkenswerterweise zeigen sich bei vorher Medikamentenabhängigen postoperativ keine Entzugerscheinungen.

Patienten mit schwersten Schmerzzuständen, wie sie z.B. durch maligne Tumoren verursacht werden, und die emotional sehr darunter leiden, kommen für eine Cingulotomie in Frage.

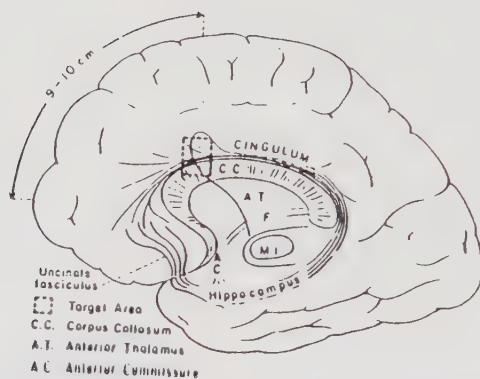


Abb. 15: Median sagittal diagram (human brain) with cingulum target for rostral cingulotomy.

(Foltz, E.: Psychosurgical approach to chronic pain (cingulotomy), 1977 (32))

2.3.8. Extralemniskale Myelotomie

Im Unterschied zu Hitchcock unterbricht Schvarcz nicht die kreuzenden Fasern, sondern mehr dorsal das extralemniskale Bahnsystem, d.h. ascendierende unspezifische polysynaptische Bahnen. Dies hat den Vorteil, daß nur mehr selten störende Sensibilitätsverluste auftreten. Der Effekt ist mit der Wirkung von Läsionen im zentromedianen-parafaszikulären Komplex im Thalamus vergleichbar.

Schvarcz führt die Operation unter Lokalanästhesie mit einem modifizierten Hitchcock-Apparat durch. Nach Punktion der Zisterne und Kontrastdarstellung des Rückenmarks geht er atlantooccipital mit einer Radiofrequenzelektrode ein. Sein Zielpunkt liegt 5 mm vor der dorsalen Rückenmarksgrenze in der mittelsagittalen Ebene, wo er eine ca. 2,5-3 mm² große Läsion setzt. Gemäß der Stimulationsergebnisse zeigt der dorsale Funikulus nachstehende somatotopie Gliederung. Sie dient Schvarcz als Orientierungshilfe.

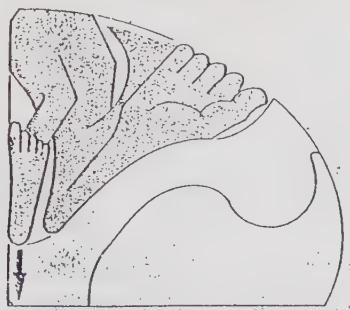


Abb. 16: Somatotopic organization of the dorsal funiculus, in the light of stimulation data.

(Schvarcz, J.R.: Stereotactic extralemniscal myelotomy, 1976 (119))

Das Diskriminationsvermögen bleibt postoperativ erhalten. Auch bei schon vorhandener respiratorischer Funktionseinschränkung kann eine hochreichende Analgesie erzielt werden, da sich die autonomen respiratorischen Bahnstrukturen außerhalb des Operationsweges befinden. Blasendysfunktion und motorische Schwäche sind laut Schvarcz auch nicht zu erwarten, da die betreffenden Bahnen geschont werden.

Er behandelte 35 Karzinompatienten, von denen sechs eine teilweise Rückkehr der Schmerzen erlebten. Die mittlere Beobachtungszeit betrug nur 6 Monate, da die Patienten bald verstarben.

Schvarcz empfiehlt die Myelotomie bei Hyperpathien, tiefen, brennenden Schmerzen, die im oberen und unteren Körperbereich oder auch bilateral lokalisiert sein können.

2.4. Implantation eines Elektrostimulators

Ausgehend von der Gate-Control-Theorie kamen Melzack und andere Forscher zu dem Ergebnis, daß Schmerzreaktionen durch Gegenreizung verringert werden können. Gegenreizung mittels Elektrostimulation erhöht die Aktivität dicker Fasern, wobei durch periphere und zentrale Modulation das "Tor" geschlossen und der Schmerzreiz blockiert wird. Kurz gefaßt, könnte man sagen, "sensation inhibits sensation" (Ray). Gegner dieser Theorie schreiben diese Wirkung jedoch der Ermüdung des peripheren Nervensystems oder - in der Klinik - Placeboeffekten zu.

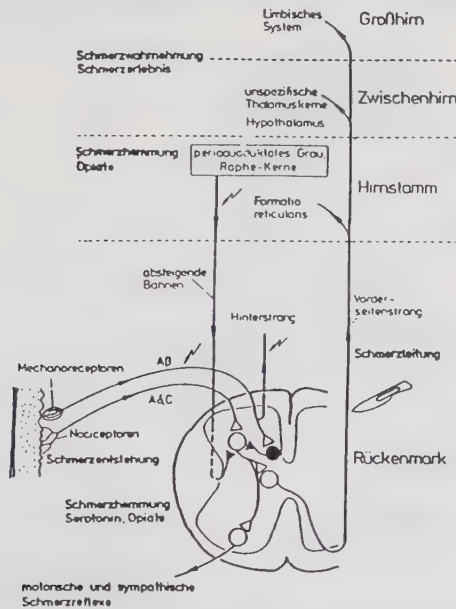


Abb. 47. Funktionelle Übersicht über die Verarbeitung von schmerzhaften Reizen im Rückenmark (schematisiert). Sensorische Fasern von Nozizeptoren (A δ , C) erregen über synaptische Verbindungen Rückenmarksneurone, Übertragungs-glieder zu spinalen Reflexen und zu aufsteigenden Nervenbahnen. Schmerzinformation wird über diese Bahnen zu zahlreichen Gehirngebietten geleitet, in denen die neuronalen Vorgänge für die kognitiven, affektiven, vegetativen und motorischen Aspekte des Schmerzes ablaufen. Die Rückenmarksneurone können gehemmt werden, symbolisiert durch hemmende Synapsen (schwarz gezeichnet). Hemmende Wirkungen kommen auch über absteigende Bahnen aus dem Hirnstamm. Elektropfeile zeigen an, wo durch elektrische Reizung Hemmung der Schmerzinformation erzeugt werden kann; das Skalpelt symbolisiert die neurochirurgische Schmerzausschaltung; durch Chordotomie

(Zimmermann, M.: Neurophysiologische Mechanismen von Schmerz und Schmerztherapie, 1982 (146))

2.4.1. Periphere Nervenstimulation

Die am Hinterhornneuron ansetzenden Hemmungssysteme (das segmentale und das deszendierende, siehe Abb. 18) können zusätzlich durch Stimulation von myelinisierten afferenten Fasern (A-delta) in peripheren Nerven aktiviert werden. Campbell und Taub konnten experimentell zeigen, daß wiederholte periphere Blockade von A-delta-Fasern mit Schmerzfreiheit korreliert. Es ist dabei nicht notwendig, bis zur Schmerzschwelle zu stimulieren, um eine Schmerzlinderung zu erzielen (Wall & Sweet). Die durch die Elektrostimulation erzeugten Parästhesien überlappen im günstigsten Fall genau die Schmerzregion.

Neural Pathways of pain and other sensation

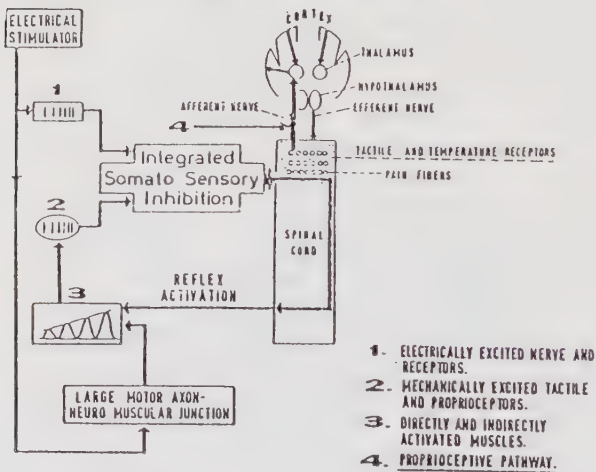


Abb. 18 (Sitzer, G.: Transkutane Nervenstimulation und ihre Anwendung in der Behandlung von Stumpf- u. Phantomschmerzen, 1981 (128))

Law schildert das Verfahren sehr detailliert:
Er behandelt seine Patienten zunächst - je nach Fall - mit Medikamentenentzug, Psychotherapie und transkutaner Nervenstimulation. Sind die Resultate nicht zufriedenstellend, wird das periphere Nervenstimulationssystem implantiert (siehe Abb. 19).

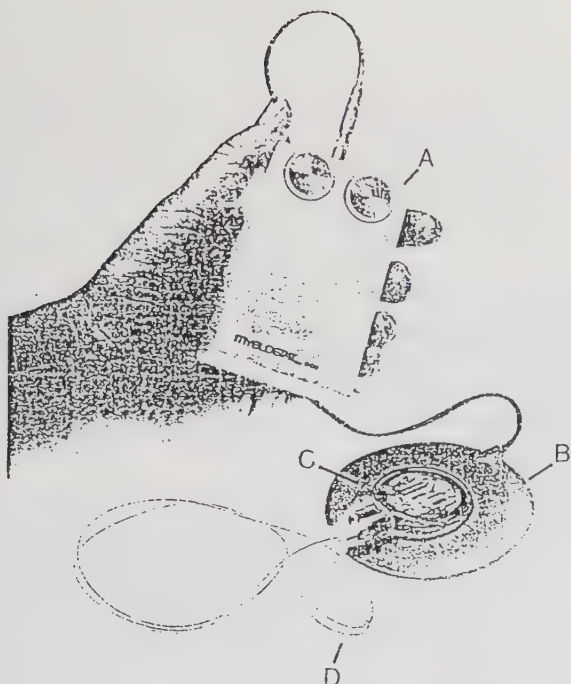


Abb. 19 Peripheral nerve stimulator system: consisting of A. external transmitter 455-KHz pulse-modulated carrier sufficient to develop 8-v stimulus at receiver through coupling distance of 1 cm, B. antenna, C. receiver encased in epoxy and coated with thin medical-grade silicone rubber to reduce foreign body reaction and D. wraparound nerve electrode using platinum tinsel wire.

(Picaza et al.: Pain suppression by peripheral nerve stimulation, Part II, 1975 (100))

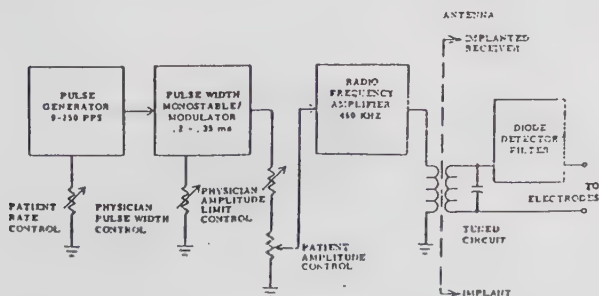


Abb. 20 Functional block diagram of peripheral nerve stimulator (transmitter) system.

(Picaza et al.: Pain suppression by peripheral nerve stimulation, Part II, 1975 (100))

Unter Vollnarkose wird eine Fettgewebstasche subkutan infraklavikulär über dem M. pectoralis oder - zur N.ischiadicus Stimulation - am McBurney Punkt präpariert, in die der Radiofrequenzempfänger implantiert wird. Die Fettschicht über dem Empfänger darf maximal einen Zentimeter dick sein, da sonst die Impulsübertragung über die aufgelegte Antenne nur mangelhaft funktioniert. Anschließend wird ein subkutanes oder intermuskuläres Tunnel zum betreffenden Nerven angelegt und mit einem Penrose Drain das Kabel vorsichtig durchgezogen. Eine Schleife muß gebildet werden, um später auch starke Körperbewegungen zu ermöglichen, ohne die Leitung abzureißen.

Der periphere Nerv wird freipräpariert und eine mehrknöpfige Elektodenmanschette so um ihn herumgelegt, daß sie den Nerven nicht einschnürt und ein wenig auf ihm gleiten kann.

Am wachen Patienten wird intraoperativ die optimale Anordnung der Reizelektroden ca. 45 Min. lang ermittelt (s. Abb.23). Der Patient gibt dabei an, wo er die Parästhesien verspürt und wann es zu einer Muskelkontraktion kommt.

Schließlich werden die unbrauchbaren Anschlüsse versiegelt und mit den anderen in einem kleinen Teflonbeutel in der subkutanen Tasche verankert.



Abb 21 Ulnar nerve implant with receiver located in infraclavicular fossa.

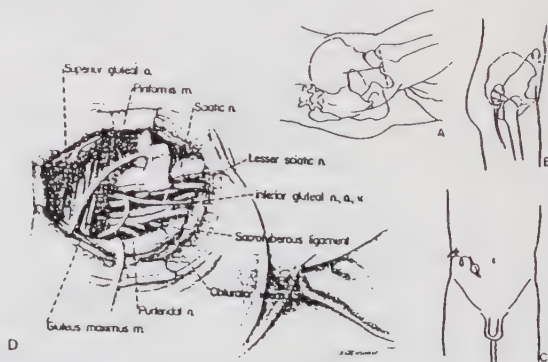


Abb 22 Sciatic nerve implant technique. A. 10-cm incision perpendicular to midportion of ischiofemoral line. B. McBurney incision for receiver pocket. C. Implanted device in position. D. Split muscle approach to sciatic notch.

(Picaza et al.: Pain suppression by peripheral nerve stimulation, Part II, 1975 (100))

Peripheral nerve stimulation for chronic pain

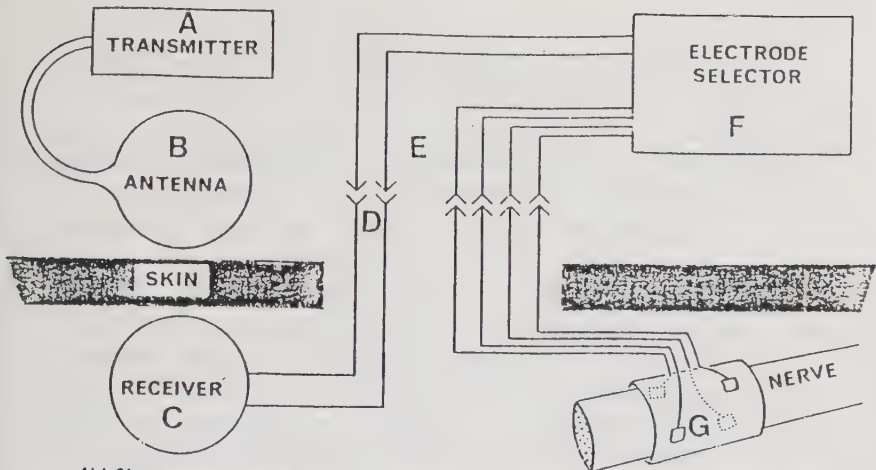


Abb 23. Schematic representation of the components of a peripheral nerve stimulating system. For intraoperative testing, the transmitter (A) supplies radiofrequency current via an antenna (B) to the implanted receiver (C). Current is then supplied to the four stimulating buttons (G) around the nerve, via the temporary electrode switch (F), which merely facilitates testing of the effects of stimulation of each of the 24 combinations. D = six connectors; E = six-wire cable.

(Law et al.: Retrospective analysis of 22 patients with chronic pain treated by peripheral nerve stimulation, 1980 (56))

Postoperativ wird der Patient dazu angehalten, sooft wie nötig zu stimulieren. Dies geschieht meist an der Sensibilitätsschwelle mit einer Frequenz von 1-50 Hz.

Bei Law und Picaza bewegt sich die Erfolgsrate zwischen 60 und 70% bei einer mittleren Beobachtungszeit von 25 Monaten. Da der Erfolg so lange anhielt, kann ein Placeboeffekt praktisch ausgeschlossen werden.

Da dieses Verfahren noch ziemlich an seinem Anfang steht, ist noch mit vielen technischen Problemen zu kämpfen. Die Hälfte der Patienten mußte sich Reoperationen unterziehen, da die Elektroden verrutscht waren oder der Nerv gequetscht wurde, ein Befund, der sich häufig in Muskelschwäche äußerte.

Außerdem wurden lokale Infektionen und allergische Reaktionen gegen das implantierte Material beobachtet; dies hofft man, durch Verwendung von Silastic zukünftig verhindern zu können.

Laut Angaben der Firma Medtronic, Inc. werden ungefähr 15% der Geräte im Laufe der Zeit defekt.

Bisher wurden nur Erfahrungen mit der Behandlung von traumatischen Neuropathien gesammelt.

2.4.2. Rückenmarkstimulation

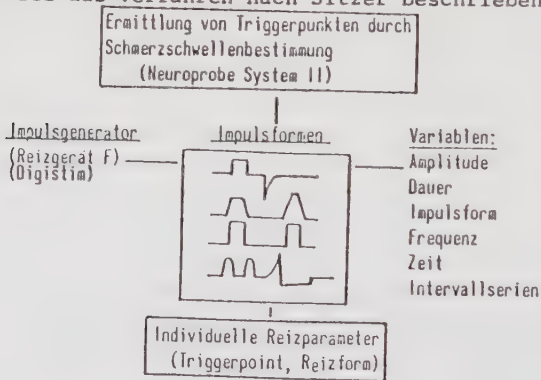
Bisher war man der Ansicht, daß Schmerzkontrolle durch antidrome Aktivierung von myelinisierten Primärafferenzen im Hinterstrang erfolgt, welche ihrerseits die Aktivierung von Sekundärneuronen hemmen. Campbell und Hunt vermuten nun aufgrund experimenteller Erfahrungen, daß die sog. Hinterstrangstimulation gleichzeitig eine Leitungsblockade im Tractus spinothalamicus oder im Lissauer Trakt bewirkt. Hoppenstein stellte außerdem fest, daß eine wirkungsvolle Stimulation des Vorderseitenstranges kontralateral zur Seite des Schmerzes ein Drittel weniger Stromimpulse benötigt als die Hinterstrangstimulation. Dies deckt sich auch mit den experimentellen Befunden von Larson et al.. Die Platzierung von Elektroden am Vorderseitenstrang birgt jedoch zu große technische Probleme, als daß sie "routinemäßig" zur Anwendung gelangen könnte. Campbell empfiehlt, den Terminus "Hinterstrangstimulation" durch "Rückenmarkstimulation" zu ersetzen, solange der Funktionsmechanismus nicht endgültig geklärt ist.

Ray vertritt ebenfalls die Ansicht, daß nicht nur der Funiculus posterior, sondern auch tiefere, seitlichere Nervenstränge von der Elektrostimulation erfaßt werden. Diese leiten die mechano-nozizeptive Information rostral, wo durch das anti-nozizeptive Stressorsystem efferente Impulse freigesetzt werden. Diese aktivieren das deszendierende serotonerge System des dorsolateralen Funikulus und gelangen ins Hinterhorn und in die Substantia gelatinosa. Außerdem werden lokale Depolarisationen im "spinalen Tor" ausgelöst. Das deszendierende serotonerge System aktiviert die Enkephalinfreisetzung und zwar wahrscheinlich in denselben afferenten Neuronen, in denen die Substanz P zu finden ist.

Es hat sich als sehr nützlich erwiesen, vor einer Implantation des Nervenstimulators eine umfassende neurologische und allgemein psychiatrische Untersuchung vorzunehmen. Ein Ausschlusskriterium bei der Auswahl von Patienten sind erhöhte MMPI-Profile, ausgenommen Hysterie, Hypochondrie und Depression, die sich als Charakteristika für Patienten mit starken, chronischen Schmerzen herausgestellt haben.

Um das Ausmaß der Schmerzminderung und die Kooperationsfähigkeit des Patienten ermessen zu können, hat es sich bewährt, zunächst die Wirkung transkutane elektrischer Nervenstimulation (TENS) zu testen.

Hierzu sei das Verfahren nach Sitzer beschrieben:



TNS-Gerät: (Regelung von Frequenz, Amplitude, Dauer)
(Zwei-Kanalbetrieb mit identischen Leistungen)
(Sitzer, G.: Transkutane Nervenstimulation und ihre Anwendung in der Behandlung von Stumpf- und Phantomschmerzen, 1981 (128))

Nach fünftägiger stationärer Erprobung und optimaler Einstellung bekommt der Patient ein portables TENS-Gerät, an dem er seine Reizparameter individuell einstellen kann. Er kann auch statt den üblichen zwei Elektroden eine 4-Punkt-Elektrode benutzen mit jedoch entsprechend geringerer Leistung.

Es werden zwei verschiedene Reizprinzipien angewendet:

- 1) Die Hautelektroden werden an hyperalgischen Triggerpunkten im Schmerzareal so plziert, daß der elektrische Reiz dort Parästhesien wie Kribbeln oder Vibrieren auslöst.

2) Die Hautelektroden werden unmittelbar über Nerven proximal oder distal zur Peripherie des Schmerzgebiets aufgelegt. Die optimale Stimulationsfrequenz liegt im allgemeinen zwischen 70 und 100 Hz maximal 3-4 mal täglich über 20-30 Minuten, da das Rückenmark nur über eine beschränkte Adaptationsfähigkeit bezüglich frequenter Reize verfügt. Die Schmerzschwelle soll bei der TENS nicht überschritten werden.

TENS hat sich nur bei der Behandlung von mäßigen Malignomschmerzen im Kopf- und Nackenbereich, von Phantomschmerzen im Frühstadium und postherpetischen Neuralgien als wirkungsvoll erwiesen. Hier übersteigt die Dauer der schmerzmindernenden Wirkung signifikant auch langanhaltenden Placeboeffekt (Ventafridda et al., Long et al.).

Walker et al. berichten bei TENS-Anwendung von unerwünschten Begleiterscheinungen wie Erythemen und Sympathikuseffekten, die sich in Schwitzen, Kältegefühl und Piloerektion manifestieren. Die Autoren stimulieren mit nur 20 Hz, dafür mindestens täglich eine Stunde lang.

Bei Patienten, bei denen die TENS versagt, kommt als nächste Möglichkeit die perkutane, epidurale Neurostimulation in Betracht. Diese hat den Vorteil, daß sie risikoärmer ist als die Implantation eines Rückenmarkstimulators durch Laminektomie und wochen- bis monatelanges Testen bei nach außen gelegten Leitungen mit anschließend endgültiger Verankerung erlaubt.

Die Techniken der einzelnen Autoren unterscheiden sich nur in wenigen Details.

Broseta führt unter Neuroleptanalgesie zwei Elektroden durch Touhy Nadeln ins Cavum epidurale ein. Diese Nadeln werden auf der Schmerzseite angesetzt zwischen den Dornfortsätzen proximal der Segmente, die das Schmerzgebiet innervieren. Die Elektroden werden an einen Teststimulator angeschlossen und unter fluoroskopischer Kontrolle soweit geschoben, bis Elektrostimulation Parästhesien im Schmerzgebiet erzeugt. Die exakte Platzierung der Elektroden gestaltet sich oftmals diffizil, da die langen flexiblen Elektroden (Avery Lab. Inc., Medtronic, Inc.) schwer zu führen sind. Die Kabel werden schließlich subkutan nach lateral

geführt, wo sie nach außen gelegt werden.

Während der einwöchigen Testphase bei nach außen gelegten Leitungen wird 1-4 mal täglich 30 Minuten lang stimuliert. Dem Patienten werden audiovisuelle Trainingsprogramme gezeigt. Er muß solange probieren, bis er die für ihn günstigsten Reizparameter gefunden hat. Diese liegen je nach Gerät bei 0-8 V, 9-250 Hz und einer Impulsdauer von 0,1-0,5 Millisekunden. Es wurde beobachtet, daß sich die Reizparästhesien mit zunehmender Impulsbreite, weniger jedoch mit Steigerung der Reizstärke nach distal ausdehnen, ein Phänomen, das bisher noch nicht erklärt werden konnte. Wenn die Stimulationsparameter optimal eingestellt sind, werden die Kabel in einer zweiten Sitzung subkutan oder intermuskulär mit dem dicht unter der Haut infraklavikulär implantierten Empfänger verbunden. Burton hat hierzu ein neues Instrument entwickelt, das die Tunnelung erleichtert (siehe Abb. 24).



Abb.24. "Zorro" tunneling instrument. Channel at tip permits inversion of No. 2 silk suture (waxed) which is then knotted and drawn subcutaneously. Arrow shows groove at which Penrose drain can be held directly to tip.

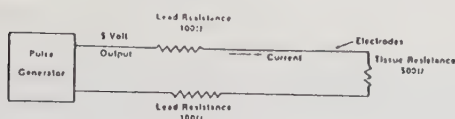
(Burton, Ch.: DCS: Optimization of application, 1975 (13))

Auf den Empfänger wird zur Stimulation die ringförmige Spezialantenne des Radiofrequenztransmitters gelegt. Der Transmitter wird an einem Gürtel oder an der Kleidung befestigt. Burton berichtet, daß einige Patienten aus kosmetischen Gründen lieber die Schmerzen aushielten als den Transmitter zu tragen.

Krainick et al. verwenden bipolare Elektroden für Schmerzzustände in den unteren Extremitäten (ebenso Pineda) und unipolare Elektroden für Schmerzen in den oberen Extremitäten (s. Abb.25). Denn nach seiner Erfahrung spürt der Patient nur bei der Stimulation mit einer unipolaren Elektrode Parästhesien einige Segmente über dem Nervenstimulator.

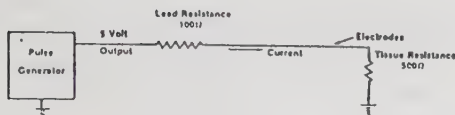
Spinal Neuraxis by Biocompatible Electrical Current

BIPOLAR



$$\begin{aligned} \text{Total Resistance} &= 100 + 500 = 600 \text{ ohms} \\ \text{Current} &= 5 \text{ Volts} / 600 \Omega = 8.33 \text{ ma} \\ \text{Voltage at tissue} &= 8.33 \text{ ma} \times 500 \Omega = 4.17 \text{ volts} \\ \text{Efficiency} &= \frac{\text{energy to tissue}}{\text{Total output energy}} = \frac{I^2 R \text{ Tissue}}{I^2 R \text{ Total}} = \frac{500 \Omega}{600 \Omega} = 83\% \end{aligned}$$

MONOPOLAR



$$\begin{aligned} \text{Total Resistance} &= 100 + 500 = 600 \Omega \\ \text{Current} &= 5 \text{ Volts} / 600 \Omega = 8.33 \text{ ma} \\ \text{Voltage at tissue} &= 8.33 \text{ ma} \times 500 \Omega = 4.17 \text{ volts} \\ \text{Efficiency} &= \frac{\text{energy to tissue}}{\text{Total output energy}} = \frac{R \text{ Tissue}}{R \text{ Total}} = \frac{500 \Omega}{600 \Omega} = 83\% \end{aligned}$$

Abb25. Basic electronic theory on the differences between monopolar and bipolar spinal cord stimulation. The unipolar system delivers more stimulation energy to the tissue, but requires more battery current for a given voltage. The bipolar delivers more concentrated stimulation, while the unipolar is more dispersed.

(LeRoy, P.L.: Stimulation of the spinal neuraxis by biocompatible electrical current in the human, 1980 (57))

Nur in wenigen Fällen muß eine offene Implantation der Elektroden durch Laminektomie erfolgen. Dieses Vorgehen ist z.B. bei Verwachsungen der Rückenmarkshäute oder bei Verrutschen der Elektroden indiziert.

Ergebnisse:

Epidurale Stimulation erzeugt weder sofortige Analgesie, noch endet die schmerzmindernde Wirkung in dem Moment, wenn der Stimulator ausgeschaltet wird. Es werden gewöhnlich Latenzen von 1-30 Minuten und ein Andauern der Analgesie von 1 Minute bis 12 Stunden nach Stimulation beobachtet. Im Laufe der Zeit nimmt das schmerzfreie Intervall nach Stimulation zu, es geschieht jedoch auch, daß die Wirksamkeit der Stimulation abnimmt. Dieses Phänomen hat als Ursache oft technische Defekte. Bei subduraler Implantation entwickelt sich häufig eine reaktive Verdickung der Dura und Arachnoidea, welche mit einem Nachlassen der Stimulationswirkung korreliert und mit einer Erhöhung der Reizstärke kompensiert werden kann (die Suche

nach Fremdkörperriesenzellen verlief bei Gewebebiopsien Nasholds negativ). Die meisten Autoren bevorzugten daher die endodurale Implantation (Krainick, Long, LeRoy). Hierbei ist jedoch eine höhere Ausgangsreizstärke erforderlich, da zwischen Rückenmark und Stimulator ein Durablatt die Stimulationswirkung dämpft.

Temperatur-, Berührungsempfindung und Zwei-Punkt-Diskriminationsvermögen bleiben unverändert ober- und unterhalb des Stimulationsniveaus. Kutane Rezeptorafferenzen werden also durch Rückenmarkstimulation nicht beeinträchtigt, ein Befund, der der "gate-control"-Theorie widerspricht.

Wenn man fordert, daß die Patienten eine mindestens 50%ige Schmerzminderung erfahren, kann man eine Erfolgsrate von 30-60% im Langzeitverlauf (bis zu 7 Jahren) angeben. Long berichtet sogar einer 70%igen Erfolgsrate über 3-5 Jahre hinweg. Allerdings wandte er sehr strenge Auswahlkriterien an und betreute seine Patienten besonders intensiv, d.h. er versuchte, Angst, Depression, Hypochondrie und jegliche Schwierigkeiten psychologischer und sozialer Art individuell mit Verhaltenstherapie zu behandeln. Eine sorgfältige Patientenselektion ist überhaupt von entscheidender Bedeutung für den Erfolg.

Komplikationen:

Leider stehen die technischen Probleme mit den Geräten noch im Vordergrund. Sie machen häufig Rehospitalisationen und Revisionen notwendig (mindestens einmal jährlich). Verrutschte Elektroden (Röntgenkontrolle), gebrochene Leitungen und Antennen, defekte Anschlüsse und undichte Isolierungen werden hauptsächlich beobachtet. Das sind Probleme, die von Herstellerseite dringender Lösung bedürfen.

LeRoy verzeichnet in seiner retrospektiven Studie über fünf Jahre hinweg 6% Elektrodenwanderungen, 14% Abstoßungsreaktionen, 6% Wundinfektionen und 0% Letalität. Zysten (Pseudomeningozelen) und Austritt von Liquor cerebrospinalis durch Fisteln wurden bei endoduraler Implantation nicht beobachtet. Diese traten jedoch auf bei subduraler Verpflanzung, unter Umständen mit begleitender Rückenmarkskompression, die eine sofortige Entfernung

des Stimulationssystems notwendig macht.

Es können auch Schmerzen an den Nervenwurzeln direkt auftreten, ein Effekt, der bei bipolarer Stimulation nicht beobachtet wurde.

Ca. die Hälfte der Gerätebenutzer leidet während der Reizung unter so starken Gangunsicherheiten, daß sie das Gerät nur im Liegen einschalten können.

Serome und Hämatome traten nur bei der offenen Implantationstechnik mit Laminektomie auf. Die Infektionsgefahr ist hierbei auch um vieles größer.

Indikation:

Die epidurale Rückenmarkstimulation eignet sich für die Behandlung von Deafferentierungszuständen, bei denen aber der zentrale Schmerzverarbeitungsapparat intakt sein muß. Der Schmerzcharakter ist als drückend, tief, brennend, klopfend oder schlagend zu beschreiben.

2.4.3. Hirnstimulation

Es gibt zwei verschiedenen Schmerzsysteme: das phylogenetisch ältere paleospinothalamische und das jüngere neospinothalamische System. Das letztere besteht aus dem spezifischen somatosensorischen Thalamus, in dem der Tractus spinothalamicus endet. Er beinhaltet die Nuclei ventralis posterolateralis (VPL) et posteromedialis (VPM), die Capsula interna und den Lemniscus medialis. Dieses System ist für Schmerzen protopathischer und epikritischer (Sano) Art, d.h. Oberflächenschmerzen brennender und deafferentierender Natur, die unilateral bzw. eher lokal sitzen, zuständig.

Das endophinerge, paleospinothalamische System gliedert sich in den Nucleus paraventricularis, N. parafascicularis, N. centromedianus, das periventrikuläre Grau (PVG) und das periaquäduktale Grau (PAG). Der dazugehörige Schmerz ist typischerweise bilateral, eher in der Mitte lokalisiert, und läßt sich als diffus, tief und agonal charakterisieren.

Am Anfang der siebziger Jahre versuchte man, enttäuscht von den Langzeitergebnissen der Rückenmarkstimulation, mit der Elektrostimulation auf zentraler Ebene eine effektivere Methode zu entwickeln. Bei der Rückenmarkstimulation wurden damals in 40-90 % der Fälle Schmerzrezidive beobachtet.

Da bei den stereotaktischen Operationen bereits bei intraoperativer Stimulation Schmerzunterbrechungen erzielt worden waren, konnte man auf diesen Erkenntnissen weiter aufbauen.

Es werden verschiedene Funktionsmechanismen bei der Hirnstimulation diskutiert.

Mazars vertritt z.B. die Ansicht, daß die Elektrostimulation im N. ventralis posterolateralis die fehlenden physiologischen propriozeptiven Stimuli beim Deafferentierungssyndrom ersetzt und damit wieder physiologische Arbeitsbedingungen für den integrativen Thalamus geschaffen werden.

Tsubokawa et al. erklären dagegen die VPL-Stimulationserfolge mit einer Aktivitätsbahnung des Schmerzunterdrückungssystems, ähnlich den raphespinalen Neuronen, mit gleichzeitiger Unterstützung durch ein monoaminerges System.

Elektrostimulation des periaquäduktalen Graus hat gemäß zahlreichen experimentellen Erfahrungen eine signifikante Erhöhung der Enkephalin- und Endorphinkonzentration im Liquor cerebrospinalis zufolge. Dieser Befund wird durch folgende Beobachtungen gestützt: Die Injektion von 1 mg Naloxon, einem Opiatantagonisten, bewirkt, daß akuter und chronischer Schmerz durch Elektrostimulation nicht mehr aufgehoben werden kann, obwohl dies vorher möglich war. Sobald die Wirkung des Naloxon abgeklungen ist, sind die Patienten bei Stimulation wieder schmerzfrei (Richardson und Akil). Außerdem haben Hosobuchi, Mayer, Liebeskind und Akil eine partielle Kreuztoleranz mit Morphin beobachtet. Mazars stellt dies in Abrede, er konnte auch mit 2 mg Naloxon keinen Analgesieantagonismus hervorrufen. Seiner Meinung nach wirkt die PAG-Stimulation durch Blockierung oder Läsion im nahen spinothalamischen Trakt.

Sorgfältige präoperative Selektion des Patientengutes ist von entscheidender Bedeutung. Plotkin verwendet dazu den Morphin-Sättigungstest nach Hosobuchi. Verläuft dieser Test negativ, liegt vermutlich Schmerz zentralen Ursprungs vor. Hysterieverdächtigen Patienten wird als erstes Kochsalzlösung verabreicht.

Gründliche psychologische und evtl. psychiatrische Untersuchungen sind angezeigt, da der Patient hohe Motivation und Kooperationsbereitschaft aufweisen muß und nicht tablettenabhängig sein darf. Als unterstützende Maßnahme sind spezielle audiovisuelle Programme sowohl für den Patienten als auch für die Familie entwickelt worden.

Technik:

Mundinger veröffentlichte eine sehr genaue Beschreibung seiner fortschrittlichen Methode. Seit 1975 implantiert er mittels stereotaktischer, computerunterstützter Technik ein Hirnstimulationssystem von Medtronic mit einer Genauigkeit von wenigen Zehntelmillimetern.

In Lokalanästhesie befestigt er das Basissystem des stereotaktischen Computermodells mit polarem Koordinatensystem am Kopf des Patienten. Mit den gespeicherten Daten für die isolierte Kontrastfüllung des dritten Ventrikels und des Aquädukts werden der Eingang des Foramen Monroi, die Sondenrichtung und die Position des Trepanationslochs festge-

legt und die entsprechenden Koordinaten und Parameter ermittelt. Der Computer verfügt über einprogrammierte Hirnschnitte zur Bestimmung des optimalen Winkels, in dem die Elektrode zum Zielpunkt geführt wird, und über eine "Zielpunktsbibliothek".

Die Elektrode mißt 0,635 mm im Durchmesser und hat vier Reizpole von jeweils 4 mm Länge. Ein Mandrin führt die Elektrode zum Zielpunkt. Unter laufender Kontrolle der Reizäußerungen (Schmerz, Parästhesien, Schmerzunterdrückung) wird die Elektrode an der Stelle plaziert, wo die größte Schmerzerleichterung zu erzielen ist. Der Elektrodenschaft wird am Trepanationsloch mit Paladon befestigt. Die isolierten Drähte der vier Elektrodenseiten werden über dem Warzenfortsatz hinter der Ohrmuschel nach außen gelegt.

Am nächsten Tag reizt sich der Patient mittels eines batteriegetriebenen Reizgerätes selbst. Dabei werden verschiedene Frequenzen (50-200 Hz) und Spannungen (2-15 V) 20-30 Minuten in ihrer Wirkung getestet. Der Patient wird angeleitet, innerhalb von 5-8 Tagen Protokoll über die besten Elektrodenschaltungen zu führen, um die ineffektiven Elektroden selektieren zu können. Außerdem wird die Topik kortikal und subkortikal evozierter Potentiale auf bestimmte nozizeptive Reize in der Peripherie erstellt. Nach Abschluß der Untersuchungen erfolgt die endgültige Implantation in Lokalanästhesie. Die Lage der Elektroden kann dabei nötigenfalls korrigiert werden. Die Verbindung mit den ineffektiven Elektroden wird am Konnektor gelöst. Mit den verbleibenden Elektroden wird subkutan eine Kabelverbindung entlang der Halsseite mit dem substernal verpflanzten Empfängerkopf hergestellt. Das Gerät funktioniert in der gleichen Weise, wie schon bei der Rückenmarkstimulation geschildert.

Richardson verwendet eine Elektrode von Medtronic, Inc. vom Shriver-Typ, die über vier "gewickelte" Leitungskontakte von jeweils 1 mm Länge verfügt. Er stimuliert bipolar mit 0,5-3 V und 25-50 Hz. Nach seinen Beobachtungen hat eine Frequenzerhöhung dieselben unangenehmen Wirkungen wie eine Span-

nungserhöhung. Eine Steigerung über 200 Hz produziert unerwünschte Seiteneffekte wie Nystagmus, Erstickungsgefühl, Temperaturparästhesien und starkes Kribbeln im Gesicht und in den kontralateralen Extremitäten.

Wegen der geringeren Begleitwirkungen stimuliert Richardson vorzugsweise das periventrikuläre Grau (s. Abb. 26).

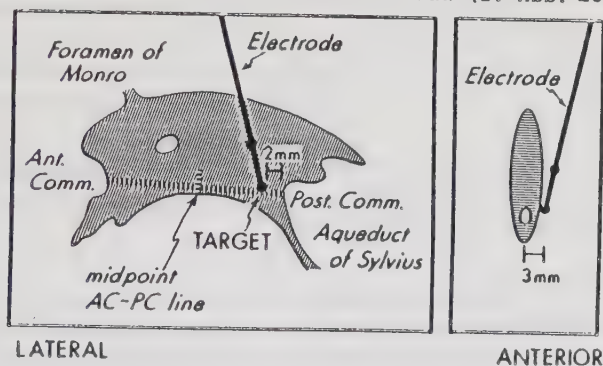


Abb. 26 Placement of electrode for stimulation of periventricular gray.

(Richardson, D.E.: Central gray stimulation for control of cancer pain, 1979 (113))

Mazars implantiert Stimulationssysteme mit einem Magnet-schalter und stimuliert mit Impulsen von nur 1,5 V und 2 Millisekunden Dauer. Dabei verspürt der Patient zwar keine unangenehmen Sensationen, aber die Schmerzunterbrechung hält nur 20 Sekunden bis einige Minuten an. Jedoch verlängerten sich die Phasen der Schmerzfreiheit im Verlauf von wenigen Tagen, in fünf Fällen sogar zwischen 3 Monaten und 12 Jahren.

Dieckmann verwendet verschiedene Elektrodentypen. Das periventrikuläre Grau stimuliert er mit einer flexiblen vierpolaren konzentrischen Elektrode. Bei Schwellenstimulation (30-60 Hz) spüren die Patienten ein Wärmegefühl und/oder Kribbeln in den kontralateralen Körperteilen. Den somatosensorischen Thalamus stimuliert er monopolar mit 10-200 Hz.

Ergebnisse:

Da die Fallzahlen bei den einzelnen Autoren zu gering sind, können nur Tendenzen angegeben werden. Neospinothalamische Stimulation erwies sich besonders wirkungsvoll bei postherpetischen Schmerzen, was auch durch Langzeitbeobachtungen belegt ist. Mazars erzielte im Gegensatz zu anderen Autoren auch bei Phantomschmerzen und Anästhesia dolorosa gute Ergebnisse.

Insgesamt gesehen erscheint die Verhütung einer Toleranzentwicklung als ein fast größeres Problem als die Wahl des Zieles. Hierzu eignen sich monoamine Vorstufen wie L-Dopa und L-Tryptophan.

Tsubokawa et al. erzielten sogar bei Patienten mit Morphin-toleranz Schmerzerleichterung, wenn gleichzeitig L-Dopa und L-Tryptophan verabreicht wurde.

Paleospinothalamische Stimulation ist sehr erfolgreich bei Malignomschmerzen (Ray, Burton) und unwirksam bei Phantom- und postherpetischen Schmerzen. Auch hier ist eine Toleranzentwicklung zu beobachten, die vermutlich auf eine Erschöpfung der verfügbaren endogenen Opiate zurückzuführen ist. Verlängert man nämlich die Pausen zwischen den einzelnen Stimulationen, erhöht sich auch meist wieder deren Wirksamkeit. Begleitende Gaben von trizyklischen Antidepressiva oder L-Tryptophan vermögen einer Toleranzentwicklung vorzubeugen und sogar die Schmerzerleichterung signifikant zu steigern (Hosobuchi et al.). Dieser Effekt beruht wohl auf einer Aktivierung der Serotoninproduktion oder Einsparung von Serotonin. Serotonin wirkt als Transmitter bei der deszendierenden Hemmung von Hinterhornneuronen schmerzhemmend (Zimmermann). Nach Beobachtungen Hosobuchis läßt sich eine Toleranzentwicklung auch durch Disulfiramgabe verhindern, einer Substanz, die gleichzeitig die Wirksamkeit der PAG-Stimulation erhöht. Eine einmal bestehende Stimulationstoleranz kann nur durch eine Abstinenzperiode wieder rückgängig gemacht werden.

Mundinger praktiziert die Elektrostimulation des Lemniscus medialis, kombiniert mit einer Stimulation der spezifischen

und unspezifischen somatosensorischen Kerne oder des periaquäduktalen Graus. Er erzielt mit diesen Kombinationen bessere Ergebnisse als mit der Stimulation von nur einem dieser Systeme. Es müssen jedoch noch Langzeitbeobachtungen angestellt werden.

Möglicherweise könnte man bei manchen chronischen Schmerzpatienten durch operantes Konditionieren die Hirnstimulation nach einer gewissen Zeit überflüssig machen (Mundinger).

Im Falle von Rezidiven kann eine irreversible Koagulation an den entsprechenden Elektrodenpolen erfolgen, ohne daß ein weiterer stereotaktischer Eingriff durchgeführt werden muß. Komplikationen:

Wie bei der Rückenmarkstimulation ist vor allem mit technischen Problemen zu kämpfen: Elektroden wandern, Drähte brechen und Antennen werden defekt.

PAG-Stimulation erzeugte vorzugsweise Nystagmus und Schwindel, während PVG-Stimulation im medialen Thalamus sehr gute Analgesie mit minimalen Begleiteffekten erbrachte (Richardson).

Außerdem wurden vereinzelt beobachtet: vorübergehende oder bleibende Hemiparesen, verursacht durch postoperative Hämorrhagien bzw. Ischämien, Infektionen am implantierten Stimulationssystem mit/ohne Meningitis, Wundinfektionen, Okulomotoriusparesen und Anästhesia dolorosa.

Die Letalität beträgt allgemein 0%.

3. Anwendung der verschiedenen operativen Verfahren bei Amputations-, Malignom- und posttherpetischen Schmerzleiden

3.1. Vorbemerkung

Es liegt in der Problematik der Schmerzoperationen begründet, daß sich die Resultate nur schwer tabellarisch erfassen und miteinander vergleichen lassen. Dies potenziert sich bei der Zusammenstellung größerer Übersichten.

Nahezu jeder Autor setzt unterschiedliche Akzente bei der abschließenden Beurteilung. Er kann mehr Wert legen auf das Ausmaß der erzielten Schmerzminderung oder auf die Bewertung des postoperativen Allgemeinzustandes inklusive der Komplikationen und Begleiteffekte. Bei manchen Studien sind im übrigen die konsekutiven neurologischen Störungen nur sehr mangelhaft dokumentiert. Die Tabelle auf Seite 57 versucht, einen Überblick zu geben über die häufigsten Komplikationen bei den verschiedenen operativen Verfahren.

Oft wird auch über den Sinn und Wert eines Operationsverfahrens geurteilt, ohne über in etwa aussagekräftige Fallzahlen zu verfügen oder Verlaufsstudien über mindestens ein Jahr vorgenommen zu haben.

Grundsätzlich ist anzumerken, daß eine gemeinsame Auswertung der literaturkundigen Einzelergebnisse nach strengen statistischen Maßstäben trotz der relativ hohen Gesamtzahl nicht möglich ist. Die einzelnen Fallzahlen sind nach Aufschlüsselung nämlich äußerst gering, wenn man die Zusammensetzung eines Kollektivs genauer betrachtet. So ist z.B. von großer Bedeutung, wo der Schmerz empfunden wird, welche Grundkrankheit zugrundeliegt, welches Krankheitsstadium erreicht ist und in welcher physischen und psychischen Gesamtverfassung sich der Patient befindet. Es gibt wohl keinen Chirurgen, der die Operationstechnik nicht nach seinen Vorstellungen modifiziert. Aber wenn man alle diese Umstände berücksichtigen wollte, könnte man überhaupt keine Vergleiche mehr durchführen.

Ferner bestehen erhebliche Unterschiede, was die Klassifizierung von Schmerzbesserung anbetrifft. Hier seien Schmerzbewertungstabellen vorgestellt, die in Amerika vielfach Verwendung finden:

Pain profile scoring matrix

Grade	Daily duration of pain	Intensity of pain	Activity level	Drugs	Behavior
0	No pain	None	Normal	None	Normal - alert, cheerful, cooperative
1	Having pain up to 25% of time	Mild	Slightly restricted activity	Aspirin	Slightly disturbed - irritable, disagreeable, complaining, moody
2	Up to 50% of time	Discomforting	Moderately restricted	Sedatives tran- quillizers	Moderately disturbed - dull, unhappy, anxious, uncooperative
3	Up to 75% of time	Distressing	Severely restricted	Hypnotics Barvon	Quite disturbed - quite depressed, moderately withdrawn, bitter, desperate
4	Up to 100% of time	Horrible or excruciating	Incapacitated	Narcotics	Asocial - severely withdrawn, belligerent, combative, asocial, panic state

(Ray, Ch.D.: Control of pain by electrical stimulation, 1975 (105))

PAIN EVALUATION PROFILE

Grade	Pain time (% per day)	Pain intensity	Factor activity decreased (%)	Medication (abuse potential)	Pain-associated behavior disorder
0	0	none	0	none	normal
1	25	mild	25	nonaddictive*	slight
2	50	discomfort	50	low**	moderate
3	75	distressing	75	moderate†	severe
4	100	excruciating	100	high‡	extreme

* Substances listed in Schedule V of the Bureau of Narcotics and Dangerous Drugs

** Substances listed in Schedule IV of the Bureau of Narcotics and Dangerous Drugs

† Substances listed in Schedule III of the Bureau of Narcotics and Dangerous Drugs

‡ Substances listed in Schedule II of the Bureau of Narcotics and Dangerous Drugs

(Picaza et al.: Pain suppression by peripheral nerve stimulation, Part II, 1975 (100))

Criteria and ratings for evaluating efficiency of stimulation

Factor	Score	Evaluation
A: completeness of pain relief during and after stimulation	0 1 2 3	no pain relief minimal relief good relief total relief
B: duration of analgesia after termination of stimulation	0 1 2 3	analgesia outlasts by less than 1 hr analgesia outlasts for 1-4 hrs analgesia outlasts by 4-12 hrs analgesia outlasts longer than 12 hrs
C: accompanying side effects	0 1 2 3	intense or negative with any pain relief negative effects only at certain currents innocuous effects, not disturbing to patient no side effects
D: long term effectiveness	0 1 2 3 4	analgesic effectiveness disappears in 2 mos over 2 mos, showing decrement 2 mos to 1 yr, no decrement 1 to 2 yrs, no decrement more than 2 yrs, no decrement
sum of scores on factors A, B, C, and D	0-4 4-6 7-10 11-13	failure poor result good result excellent result

(Richardson, Akil: Pain reduction by electrical brain stimulation stimulation in man, Part II, 1977 (111))

Zuordnung der häufigsten Komplikationen zu den einzelnen operativen Verfahren

	Dysästhesien	Blasenfunktions- störung	Rektumfunktions- störung	Hemiparese	Augenmuskellähmung (Hörner, Parinaud)	Nystagmus	Ataxie	Respir. Störung	Hypotension	Arachnoiditis	Infektions- und Abszessreaktion	Liquor cerebro- spinal. Fistel	Technische Defekte	Letalität
Chordotomie (offen + perkutan)	+	+	+	+	+	+	+	+	+					3-5%
Kommissurale Myelotomie (abhängig v. Segm.höhe)	+	+	+				+	+						0%
Rhizotomie (abhängig v. Segm.höhe)		+	+						+					0-7%
Mesenzephalotomie	+		+	+	+		+							3-5%
Metenzephalotomie	+													0% ?
Thalamotomie (zentromed.)	+		+	+	+		+							0-7%
Hirnstimulation	+		+	+						+		+		0%
Rückenmarkstimulation			+						+	+	+	+		0%

Inwieweit die vom Patient empfundene Schmerzerleichterung auf Placeboeffekten und Suggestibilität beruht, wurde noch nicht erforscht. Doppelblindstudien sind gar nicht möglich. Jedoch existieren einige Anhaltspunkte, die solche Vermutungen rechtfertigen.

Bezüglich der Anwendung der im ersten Teil dieser Arbeit vorgestellten Schmerzbehandlungsverfahren erscheint es mir angebracht, zunächst mit den nicht destruktiven und risikoärmeren Stimulationsmethoden zu beginnen und erst bei deren Versagen auf radikalere und invasivere Verfahren überzugehen.

3.2. Behandlung von Postamputationsschmerzen

3.2.1. Schmerztypen

Umfangreiche statistische Untersuchungen haben ergeben, daß nach einer Amputation sofort oder mit einiger Latenz nahezu ausnahmslos Phantomgefühl bzw. Phantomschmerzen auftreten. Am Anfang wird das Phantomglied in normaler Größe und Haltung empfunden. Entsprechend ihrer somatotopischen Repräsentation im Kortex und ihrer Bedeutung als Erfolgsorgan werden kleinere Glieder wie Finger und Zehen deutlicher und häufiger gefühlt als die proximaleren Körperteile. Im Laufe der Zeit kann sich ein "Teleskop"-Phänomen entwickeln, d.h. daß die Hand oder der Fuß direkt am Stumpfende angewachsen empfunden wird.

Amputierte berichten von mannigfaltigen Sensationen in ihren Phantomgliedern: Kribbeln, Prickeln, Wärme, Kälte und Schwere. Das Phantomgefühl kann sich allmählich verlieren, es können sich jedoch auch Phantomschmerzen einstellen. Nach allgemeiner Aussage in der Literatur leiden ca. 35% der Amputierten an Phantomschmerzen, wobei in 5-10% der Fälle die Schmerzen sehr stark sind und sich im Laufe der Jahre verschlimmern (Melzack). 15-20% der Betroffenen klagen über Stumpfschmerzen und bei etwa 50% treten Phantom- und Stumpfschmerzen kombiniert auf.

In jedem Fall muß eine genaue Analyse des Schmerztyps erfolgen. Während die Stumpfschmerzen mehr durch eine diffuse Überempfindlichkeit charakterisiert sind, findet man beim Phantomschmerz verschiedene Schmerzqualitäten, die mit folgenden Adjektiven zu beschreiben sind: stechend, reißend, schneidend, glühend, brennend, verkrampft und quetschend. Außerdem werden beobachtet: abnorme und quälende Lageempfindungen im Phantomglied, kombiniert mit motorischen Reizerscheinungen im Stumpf, wie z.B. Muskelfaszikulieren und Stumpfschlagen. Der Schmerz wechselt meist in Stärke und Dauer.

Die Beschwerden von Patienten, die gleichzeitig über Stumpfschmerzen klagen, sind häufig dem neurovegetativen Brennschmerztyp zuzuordnen (Pisciol). Die Stümpfe sind dabei kalt und livide aufgrund von Durchblutungsstörungen. Die dadurch bedingte Hypoxämie kann wiederum schmerzauslösend wirken, sodaß sich allmählich eine "Schmerzspirale" entwickeln kann.

Man könnte diesen Befund auch als sympathische Reflexdystrophie deuten, die sich manifestiert in brennendem oder klopfendem Schmerz, Hyperalgesie, Hyperästhesie, vaso- und sudomotorische Störungen und Skelettmuskelhypotonie. Später kommt es zu Muskelschwäche, Atrophie und trophischen Störungen der Haut, Muskeln, Knochen und Gelenke. Diese Veränderungen können die Auslöser sein für den sogenannten Kausalgieschmerz. Er tritt typischerweise anfallsartig auf und unter Umständen neben dem Gebiet, das der verletzte Nerv versorgt, ist sehr stark und von brennendem Charakter (Seddon).

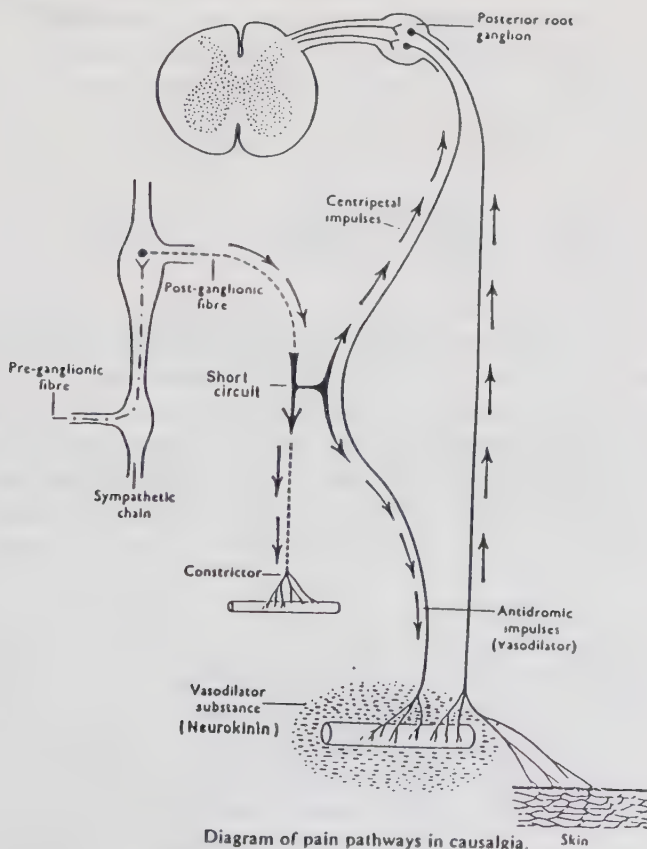
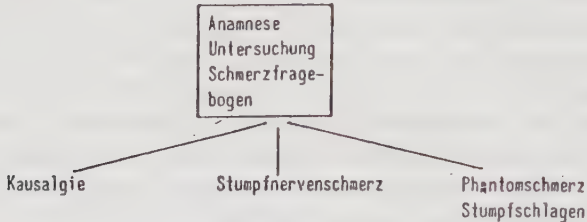


Diagram of pain pathways in causalgia.

Abb. 27 Diagram to illustrate Doupe's theory of the pathogenesis of causalgia. (Reproduced by kind permission from Barnes, R. (1954) in M.R.C. Special Report Series No. 282, p. 156)

(Seddon, H.: Surgery disorders of the peripheral nerves, 1972 (120))

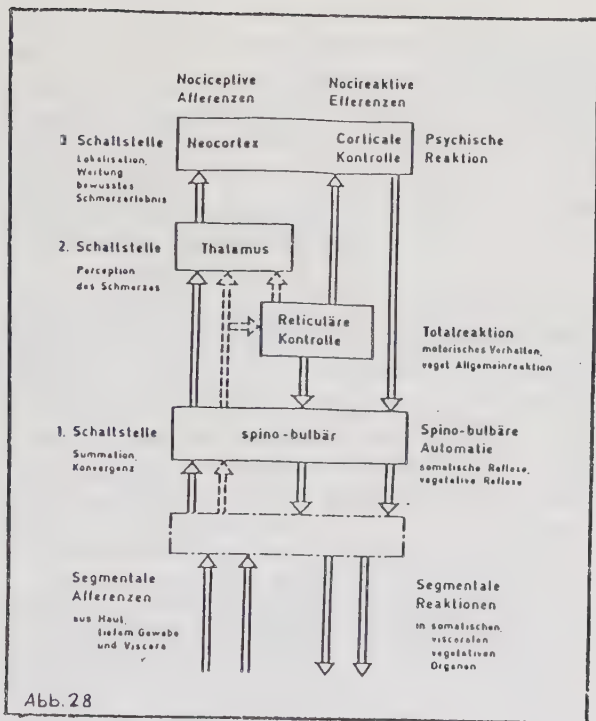
Eine überaus häufige Ursache für reine Stumpfnervenschmerzen sind Neurome, deren Resektion jedoch nur kurzzeitige Besserung zur Folge hat, da der verletzte Nerv schnell wieder auswuchert.



Die oben beschriebenen Schmerzformen sind meist nicht voneinander zu trennen, da sie oft vermischt auftreten. Allgemein sind sie sehr von äußeren Reizen wie Wetterwechsel, Hitze, Kälte, Berührung, Lärm und seelischen Erregungen abhängig (Sitzer, Seddon).

Seit Phantomschmerzen bekannt sind, wird versucht, dieses Phänomen zu erklären und geeignete Behandlungsmethoden zu entwickeln.

Für Hunt sind Phantomschmerzen Ausdruck eines Zustands von "sensorischer Deprivation". Deren Ursache liegt begründet im Ungleichgewicht in der zentralen sensorischen Verarbeitung aufgrund mangelhaften und asynchronen sensorischen Inputs. Die schmerzleitenden Bahnen und Neuronenpopulationen überwiegen, da der normale In- und Output der efferenten und afferenten Fasern nach der Amputation nicht mehr ausbalanciert ist (s. Abb.28).



(Sitzer, G.: Transkutane Nervenstimulation und ihre Anwendung in der Behandlung von Stumpf- und Phantomschmerzen, 1981 (128))

Der Theorie Hunts ähnlich ist das Konzept Melzacks eines "central biasing mechanism". Er erklärt die Hyperästhesie und Ausweitung der hyperästhetischen Zonen im Verlauf einer Sensibilitätsprüfung mit einer erhöhten Reizbarkeit des Hinterhorns.

Außerdem wurden folgende interessante Beobachtungen gemacht. Phantomschmerzen können bei bestimmten sensorischen Reizen in Dermatomen auftreten, die nicht zum amputierten Glied gehören (Triggerzone, Melzack). Miktions, Stuhlgang, Kohabitation und Angina pectoris wirken oft schmerzauslösend oder schmerzverstärkend. Patienten, die schon vor der Amputation Schmerzen im betroffenen Glied empfunden haben, entwickeln mit höherer Wahrscheinlichkeit Phantomschmerzen.

Sicherlich spielen auch tiefenpsychologische Mechanismen eine große Rolle. Der Patient hat vor der Amputation unbewußt das Engramm eines intakten Körperschemas erworben und kann dann den Verlust des Körperteils bewußt oder unbewußt nicht wahrhaben. Hypnose, Entspannungsübungen und Psychotherapie vermögen nur in seltenen Fällen etwas auszurichten, können aber als begleitende Maßnahmen von Nutzen sein.

Jede Behandlung sollte mit den einfachsten und schonendsten Maßnahmen beginnen. Zunächst muß sichergestellt werden, daß das schmerzhafteste Gebiet saniert ist, also keine Entzündungen oder Tumoren vorliegen. Eine Tablettenabhängigkeit sollte außerdem behandelt werden, da der übermäßige Mißbrauch von phenazetin- und barbiturathaltigen Mitteln und von Psychopharmaka eine Schmerzverstärkung bzw. Polyneuropathie verursachen kann. (Piscot).

Folgende Behandlungsmöglichkeiten stehen zur Auswahl:

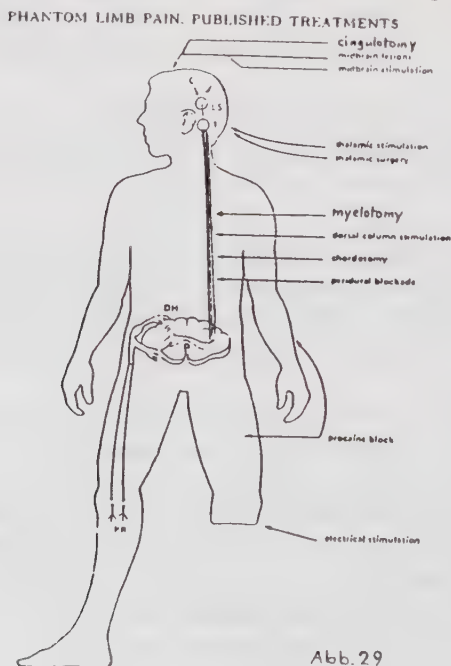


Abb. 29

(Sherman, R.: Special review: Published treatments of phantom limb pain, 1980 (123))

Die Behandlung ließe sich in folgenden Stufen gestalten:

1. Periphere Nervenblockade mit Anästhetika oder Alkohol
2. Sympathektomie
3. Elektrostimulation
 - 3.1. Transkutane Nervenstimulation
 - 3.2. Periphere Nervenstimulation
 - 3.3. Rückenmarkstimulation
 - 3.4. Hirnstimulation
4. Stereotaktische Operationen
5. Chordotomie
6. Myelotomie

3.2.2. Periphere Nervenblockade

- kontralaterale lokale Anästhesie:

Gross injiziert ein Lokalanästhetikum an Punkten auf dem intakten Körperglied, die symmetrisch kontralateral zu den hyperalgetischen Punkten am Phantomglied bzw. Stumpf liegen. Diese Stellen sind dadurch zu verifizieren, daß mit 3 V DC-Strom ein niedriger Hautwiderstand zu beobachten ist. Mit einer sehr feinen Nadel werden insgesamt 1,8 ml 1%iges Mepivacain an den Punkten appliziert. Das Verfahren wiederholt man nach Bedarf an den folgenden Tagen. In Abbildung 30 wird ein Beispiel illustriert.

Gross berichtet von vier Patienten mit Phantom- und Stumpfschmerzen, die schon länger als ein Jahr durch diese Methode von ihren Schmerzen befreit wurden.

- Alkoholverödung und Neuromresektion:

Außerst schwierig gestaltet sich die Behandlung von Stumpfschmerzen, die oft mit Phantomschmerzen vergesellschaftet sind.

Sturm, Kröger und Penzholz behandelten 15 Patienten mit Stumpfschmerzen mittels Alkoholverödung oder Neuromresektion. Die Ergebnisse in Tabelle 3 sind entmutigend. Nur zwei Patienten wurden dauerhaft gebessert. Es hat sich gezeigt, daß die Maßnahmen am chancenreichsten sind, wenn nur ein peripherer Nerv

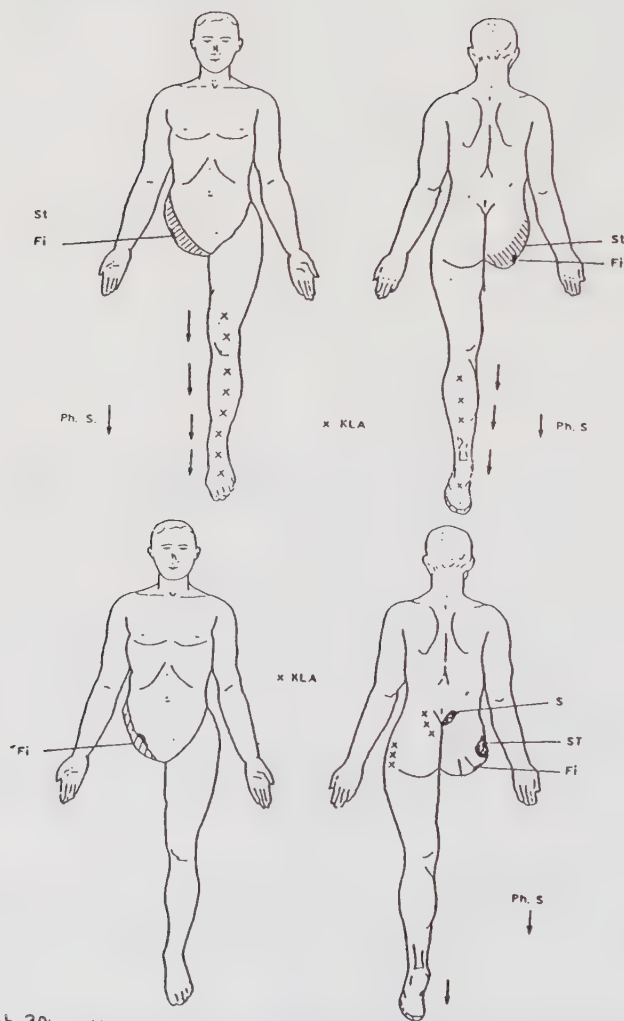


Abb. 30. a and b: patient 1 (Mrs. M). The points at which anaesthetic was injected (KLA) are marked X, and sites of phantom limb pain are indicated Ph.S. Phantom limb pain after hip resection. Ph.S., phantom limb pain; Fi, fistula; St, stump pain; X, KLA, contralateral local anaesthesia.
(Gross, D.: Contralateral local anaesthesia in the treatment of phantom limb pain, 1982 (35))

betroffen ist, ein einzelnes Neurom besteht und die Schmerzanamnese kurz ist.

Tabelle 3 Langzeitergebnisse von 15 operativen Ausschaltungen von Stumpfneuromen mit Stumpf- und Phantonschmerzen durch Neuromresektion oder Alkoholverödung

	Zahl der Eingriffe	Zeiddauer der Besserung	Länge der präoperativen Schmerzanamnese	Durchschnittliche Zeiddauer	
Anhaltende Besserung	1	bisher 2 Jahre	1 Jahr	1 Jahr	N. ulnaris-Durchschuß, Amputation der Finger 3-5
Vorübergehende Besserung	6	6 Monate 6 Monate 1 Monat 16 Jahre 3 Monate 1 Jahr	6 Jahre 8 Jahre 23 Jahre 6 Monate 21 Jahre 21 Jahre	13,2 Jahre	
Keine Besserung	8		26 Jahre 27 Jahre 26 Jahre 4 Jahre 4 Jahre 3 Jahre 7 Jahre 28 Jahre	15,6 Jahre	nach 26 Jahren schmerzfrei durch DCS nach 9 Jahren wesentliche Besserung durch DCS reiner Phantonschmerz

Langzeitergebnisse von 6 operativen Ausschaltungen von Stumpfneuromen mit reinen Stumpfschmerzen durch Neuromresektion oder Alkoholverödung

	Zahl der Eingriffe	Zeiddauer der Besserung	Länge der präoperativen Schmerzanamnese	Durchschnittliche Zeiddauer	
Anhaltende Besserung	1		7 Jahre	7 Jahre	Verletzung des N. plantaris med. durch Fraktur, Neurombildung
Vorübergehende Besserung	4	3 Monate 1 Woche 1 Woche 1 Woche	17 Jahre 18 Jahre 24 Jahre 15 Jahre	18½ Jahre	
Keine Besserung	1		4 Jahre	4 Jahre	Besserung durch DCS

(Sturm et al.: Die Problematik peripherer Eingriffe bei Stumpf- und Phantomschmerzen, 1975 (131))

3.2.3. Sympathektomie

Sympathikusinfiltration, Sympathektomie und Stellektomie wurden aufgrund vernichtender Spätresultate zur Behandlung von Phantom- bzw. Stumpfschmerzen aufgegeben.

Bei der Behandlung von Kausalgien erwies sich die Sympathektomie jedoch als erfolgreich.

White und Silverstone berichten von 66 Veteranen des Zweiten Weltkriegs, von denen die Hälfte über 2-8 Jahre von ihren Kausalgien durch Sympathektomie befreit wurden.

Seddon veröffentlichte 1972 nachstehende, sehr positive Ergebnisse, die er aus amerikanischen und englischen Quellen zusammengestellt hat. Jedoch gibt er nicht an, nach welchem Zeitraum die Befunde erhoben wurden.

Results of sympathectomy for causalgia

Collected from American and British sources.

		Excellent	Good	Poor
Upper limb	Cases	152	27	8
	Percentage	81.3	14.4	4.3
Lower limb	Cases	85	32	3
	Percentage	70.8	26.7	2.5

(Seddon, H.: Surgery disorders of the peripheral nerves, 1972 (120))

Zu ähnlich guten Ergebnissen kommt Bonica in seiner Sammelstatistik von 1979:

Authors	No. patients	Relief of burning pain (% of total patients)		
		Excellent*	Fair*	None
World War II				
Ailbrinton & Mallby (1)	30	93	—	7
Barnes (3)				
a) Preganglionic	6	100	—	—
b) Postganglionic	8	40	60	—
Bondarchuck (7)	33	91	6	3
Doupo et al. (18)	5	100	—	—
Kurkin et al. (34)	48	69	29	2
Mayfield & Devine (46)	12	100	—	—
Mayfield (45)				
First operation	105	91	9*	—
Second (more extensive) operation	8	100	—	—
Rasmussen and Freedman (58)				
Preganglionic	19	84	16	—
Postganglionic	21	67	33	—
Shumacker (62)	57	96	4	—
Speigel & Milowsky (69)	7	100	—	—
Ulmer & Mayfield (76)	70	96	4	—
White et al. (81)	14	100	—	—
French Colonial Campaigns				
Carayon & Bourrell (11)	45	62	27	11*
Vietnam War				
Baker & Winogardner (2)	25	96	4	—
Baker et al. (10)	10	100	—	—
Omer & Thomas (56)	18	89	11*	—
Total/Average %	500	84	12	4

*Complete or almost complete relief.

*Sufficient relief to require no other therapy.

*Evidence of incomplete sympathetic denervation.

*Operation limited to excision of stellate ganglion resulting in incomplete denervation of upper limb

*Postganglionic sympathectomy done in most of these patients

(Bonica, J.: Causalgia and other reflex sympathetic dystrophies, 1979 (11))

3.2.4. Elektrostimulation

3.2.4.1. Transkutane Nervenstimulation

Die transkutane elektrische Nervenstimulation ist zweifellos eine wertvolle Therapiemaßnahme bei Kausalgie-, Phantom- und Stumpfschmerzen. Auf der nächsten Seite sind Beispiele für mögliche Elektrodenplatzierungen dargestellt.

Bei Sitzler profitieren nach einem Jahr noch 70-80% der Amputierten von über 50%iger Schmerzerleichterung.

Auch Ray und Ventafridda berichten von recht guten Ergebnissen, die nachstehend aufgelistet sind:

Diagnose	Patienten- zahl	50-100% Nachlassen der Schmerzen (Pat.zahl)
Ray:		
Kausalgie	5	4
Amputations-/ Phantomschmerzen	10	8
		} im Durchschnitt 7-monatiger Beobachtungszeitraum
Ventafridda:		
Phantomschmerzen	6	4

Laut Sitzler kann ein nach längerer Anwendung zu beobachtendes Adaptationsphänomen durch frequenz- und amplitudenmodulierte Impulsgebung verhindert werden.

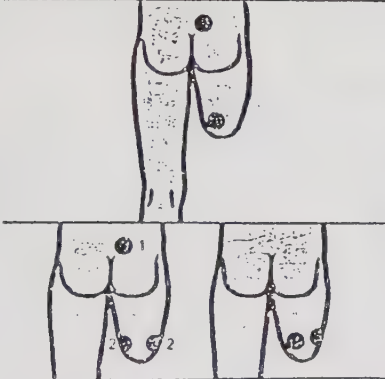
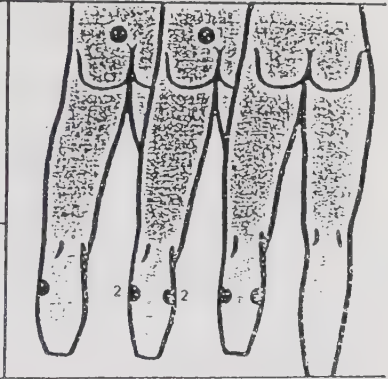
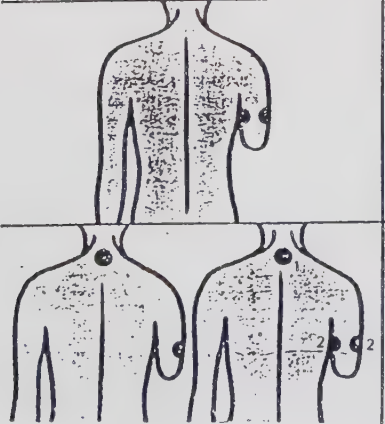
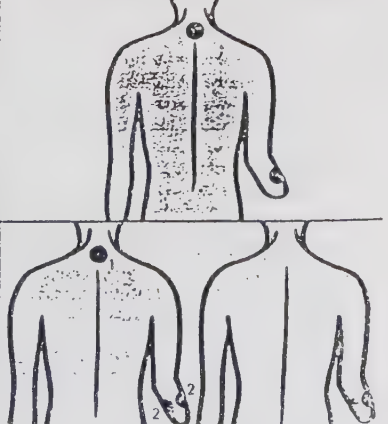
3.2.4.2. Periphere Nervenstimulation

Äußerst geringe Erfahrungen wurden bis jetzt mit der peripheren Nervenstimulation gewonnen. Technische Schwierigkeiten müssen erst noch überwunden werden. Trotzdem erscheint dieses neue Verfahren für die Zukunft recht erfolgversprechend.

Picaza et al. berichten von besten Ergebnissen bei jeweils einem Fall von Stumpfschmerz, Kausalgie und Phantomschmerz (Beobachtungszeit 7-10 Monate).

Long et al. geben für 5 von 7 Patienten mit verschiedenen brachialen Schmerzproblemen (Neuritis, Stumpfschmerzen) Schmerzbesserungen an, die 1-3 Jahre anhielten.

Möglichkeiten der Elektrodenplatzierung bei Amputationsschmerzen und ihre Behandlung durch die TNS (Dr. Rowedder)

Oberschenkel-Amputation a: Schmerzhaftes Stumpfschlagen b: Phantomschmerz	Unterschenkel-Amputation
E: 80-100 F: 10-11 a) Möglichst schon vor Einsetzen der Schmerzen, sonst innerhalb von Minuten danach für 1-24 Stunden. b) Mindestens 3x tägl. 45 Min. für wenigstens 3 Wochen Literaturhinweis: 1 8 10 16 19 20 21	E: 60-100 F: 10-11 Mindestens 3 x tägl. 30 Min. für wenigstens 3 Wochen Literaturhinweis: siehe Oberschenkelamputation
	
Oberarm-Amputation	Unterarm-Amputation
E: 30-100 F: 10-11 Mindestens 3 x tägl. 30 Min. für wenigstens 3 Wochen Literaturhinweis: siehe Oberarmamputation	E: 30-100 F: 10-11 Mindestens 3 x tägl. 30 Min. für wenigstens 3 Wochen Literaturhinweis: siehe Oberarmamputation
	

3.2.4.3. Rückenmarkstimulation

Eine adäquate Beurteilung der epiduralen Rückenmarkstimulation gestaltet sich äußerst schwierig, da die veröffentlichten Ergebnisse von Autor zu Autor sehr stark variieren. Ein großes Handicap sind die viel zu kleinen Patientenzahlen. Viele technische Probleme warten noch auf ihre Lösung, und Langzeitergebnisse müssen erst noch gewonnen werden.

Dennoch ist diese Methode einen Versuch wert, da sie - perkutan ausgeführt - nicht sehr invasiv, nicht destruktiv und ziemlich risikoarm ist (s. Kap. 2.4.2.).

Perkutane epidurale Rückenmarkstimulation:

Diagnose	Patienten- zahl	Pat.zahl mit 50-100% Schmerz- erleichterung	Beobachtungs- zeitraum in Monaten
Krainick '75:			
Phantomschmerz	3	2	
Stumpfschmerz	4	2	
kombiniert	1	1	
Krainick '80:			
Amputationss.*	61	13	-18
Broseta :			
Amputationss.	4	1	5-20
Hunt '75:			
Phantomschmerz	5	1	
Nielson '75:			
Phantomschmerz	5	4	
Winkelmüller '75:			
Phantom-/ Stumpfschmerzen	16	11	-30
Ray '82:			
Kausalgie	8	6	3-64

* 54 Patienten mit Phantomschmerzen und 48 Patienten mit Stumpfschmerzen

Krainick veröffentlichte 1980 die bisher umfassendste Studie über die Methode der Rückenmarkstimulation zur Behandlung von Amputationsschmerzen, die er jedoch nicht in Stumpf- und Phantomschmerzen aufschlüsselte.

Wie auch schon bei anderen Wissenschaftlern beobachtet, verschlechterte sich im Langzeitverlauf die Schmerzerleichterung kontinuierlich. Dies ist wohl auf lokale Gewebsreaktionen zurückzuführen und auf die Tatsache, daß die durch Stimulation erzeugten Parästhesien nach kürzerer oder längerer Zeit nicht mehr das Schmerzgebiet überlappen. 9 Patienten wurden deshalb -erfolgreich- reimplantiert.

10-20% der 64 Amputierten gaben Veränderungen in ihren Phantomempfindungen an:

Verkürzung des Phantomgliedes	N 6
bessere Bewegung des Phantomgliedes	7
Verschwinden des Phantomgliedes	7
Verkleinerung des Schmerzareals	13
stärkeres Phantomgliedgefühl	12

Allgemein berichteten die Patienten, daß zwar der tägliche "Hintergrundschmerz" verschwunden war, jedoch schwere Schmerzattacken nicht genügend durch Stimulation allein unterdrückt werden konnten. Dennoch verringerte sich der Schmerzmittelkonsum überproportional.

Bezüglich kausalgiformer Schmerzen war nur eine Studie von Ray aufzufinden, an der nur 8 Patienten teilnahmen, von denen sechs sehr gut gebessert wurden.

Mit Hilfe neuer Elektroden, die dauerhafter zu verankern sind, könnte man sicherlich den sehr hohen Prozentsatz unmittelbar postoperativer Erfolge auch auf längere Zeit ausdehnen.

3.2.4.4. Hirnstimulation

Laut Adams, Mazars und Richardson sind Deafferentierungsschmerzen, wie sie bei Phantomschmerzen vorliegen, nur durch Stimulation des somatosensorischen, neospinothalamischen Systems positiv zu beeinflussen. Dieckmann, Krainick und Mundinger sind anderer Meinung. Nach ihrer Ansicht werden diese Schmerzzustände am besten durch paleospinothalamische Stimulation des Centrum medianum, N. parafascicularis, PAG und PVG behandelt. Mazars überzeugt im Vergleich aufgrund seines großen Patientenkollektivs und hervorragender Ergebnisse. Er gibt jedoch keinen Beobachtungszeitraum an; er stimuliert ausschließlich den N. ventralis posterolateralis.

Unerwünschte Nebenwirkungen wie Diplopie, Schwindel, Angstgefühle, Temperaturparästhesien und Toleranzentwicklung können durch

Modulation der Stimulationsparameter bzw. Medikation mit tri-zyklischen Antidepressiva und Disulfiram weitgehend verhindert werden (s. auch Kap. 2.4.3.). Die meisten Komplikationen verursachen technische Defekte am Stimulationssystem.

Untersuchungsergebnisse über Kausalgie- und Stumpfschmerzen waren nicht zu erhalten.

Hirnstimulation bei Phantomschmerzen:

	Position der Elektroden	Patientenzahl	Pat.zahl mit 50-100% Schmerzerleichterung	Beobachtungszeit (Mon.)
Adams '77:	Capsula interna	5	1	
	N. ventralis posterolat.	3	0	
Mazars '79:	N. ventralis posterolat.	40	39	
Mündinger '77:	Centrum med. + PAG	3	3	-21
	Lemniscus med.	4	4	
Dieckmann, Krainick '79:	Centrum med., N. parafascic.	4	2	16-22

3.2.5. Stereotaktische Operationen

Bei allen Autoren sind die Ergebnisse sehr ungünstig, unabhängig vom jeweiligen stereotaktischen Ziel, und rechtfertigen keinesfalls die gravierenden Komplikationen, die meist unvermeidlich und irreversibel sind. Sie äußern sich in Nystagmus, Parinaud-Syndrom, Diplopie, Ataxie, Muskelschwäche im kontralateralen Bein, Intentionstremor und Dysästhesien (s. Kap. 2.3.).

Diagnose	Lokalisation der Läsion	Patienten- tanzahl	Pat.zahl 50-100% Schmerz- erleichterung	
Nashold et al. '69:				
Phantomarm- schmerz	dorsolat. Tegment im	5	2	-24 Mo.
Kausalgie	Mesenzeph.	1	1	18 Mo.
Mundinger '75:				
Phantoms. +Kausalgie	N.ventro- caud., parvo- cell. + N.lim.	6	1	-14 J.
"	Lemn. med.+ trunco-thal.S.	7	2	
"	spezif. und unspez. komb.	9	3	
Siegfried '77:				
Phantom- schmerz	Pulvinar	4	1	>12 Mo.

3.2.6. Chordotomie

Dank der in den vorstehenden Kapiteln abgehandelten Verfahren ist die Chordotomie heute als Behandlungsmaßnahme von Phantom- und Stumpfschmerzen eigentlich überholt. Daher sind auch keine neuen Statistiken aufzufinden. Die Chordotomie ist auf diesem Anwendungsgebiet schon immer umstritten gewesen. Die Gefahr, daß Schmerzrezidive eintreten (in ca. 40% der Fälle) und ernste Komplikationen, ist zu groß (s. Kap. 2.1.).

Thorakale Chordotomie:

gesammelte Ergebnisse verschiedener Autoren, Pisco '75:			Sunder-Plassmann, '75: Perneczki '75:
	Stumpfschmerzen	Phantomschm.	Phantomschm.
Patientenzahl	7	18	12
Pat. zahl mit 50-100% Schmerzbesserung	4	8	2
Beobachtungszeit (Jahre)	1-20	1-20	1-9

3.2.7. Myelotomie

Laut Schvarcz ist die kommissurale extralemniskale Myelotomie für Patienten mit eingeschränkter respiratorischer Reserve geeignet, da die autonomen Bahnsysteme für die Atmung (und für die Blasenfunktion) geschont werden. Es werden im wesentlichen aufsteigende unspezifische polysynaptische Bahnen im extralemniskalen System unterbrochen. Das Resultat ist mit der Wirkung von Läsionen im zentro-medianen-parafaszikulären Komplex im Thalamus vergleichbar. Schvarcz veröffentlichte nur Ergebnisse von Kausalgiepatienten, bei denen speziell die Hyperpathie und der tiefe Hintergrundschmerz gebessert wurden. Dies war bei 3 von 4 Patienten der Fall bei einer Beobachtungszeit von weniger als zwei Jahren.

3.3. Behandlung von Malignomschmerzen

Über 70% aller Krebspatienten im fortgeschrittenen Stadium leiden unter "agonalen" Schmerzen, von denen ein relativ kleiner, aber bedeutender Teil weder pharmakologisch noch radiotherapeutisch auf Dauer zu behandeln ist.

Bei Schmerzen maligner Genese ist zwischen andauernden und intermittierenden Schmerzen zu unterscheiden. Im allgemeinen ist der kontinuierliche Schmerz, der durch unmyelinisierte C-Fasern geleitet wird, leichter zu beeinflussen als der intermittierende, für den die dickeren A δ -Fasern zuständig sind.

Kontinuierlicher Schmerz läßt sich auf folgende Ursachen zurückführen:

- a) Infiltration somatischer und sympathischer Nervenendigungen entlang der perivaskulären Räume (Fairman); bewirkt Demyelinisierung und brennenden Schmerz
- b) (Infektion), Entzündung und Nekrose

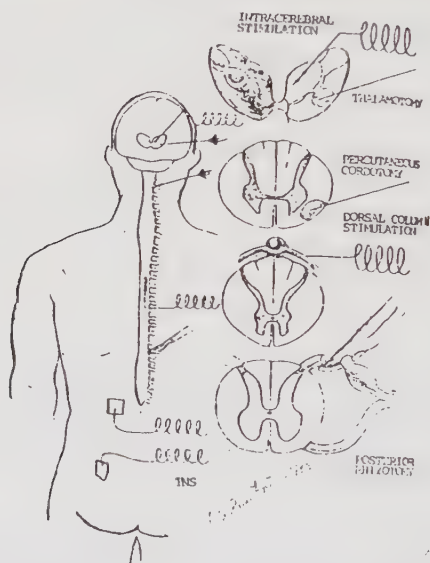
Intermittierender Schmerz wird bedingt durch:

- a) akute Nervenkompression durch den Tumor mit exzessiver Nozizeption
- b) intermittierende Spannung von Faszien, des Peritoneums etc.
- c) pathologische Frakturen

Generell sind einige wichtige Parameter bei jeglicher Schmerzbehandlung zu berücksichtigen, von der die Auswahl des geeignetsten Verfahrens abhängt:

- 1) Schmerzlokalisation, -typ
- 2) Lebenserwartung
- 3) Medizinischer Allgemeinzustand
- 4) Komplikationsrisiko
- 5) Kontraindikationen

Folgende Verfahren kommen in Frage:



(Meyerson, B.A.: The role of neurosurgery in the treatment of cancer pain, 1982 (80))

3.3.1. Chordotomie

- offene anterolaterale Chordotomie:

Wenn Malignome bzw. deren Metastasen Nervenplexus und myoskelettale Gewebe infiltrieren und komprimieren, ist dies der Chordotomie offenbar besser zugänglich, als wenn abdominale Viszeral- und Deafferentierungsschmerzen vorliegen (Meyerson).

Ist der Schmerz nur auf eine Seite begrenzt, wird eine unilaterale Chordotomie vorgenommen. Dabei ist es jedoch postoperativ möglich, daß sich vorher maskierte, da weniger stark ausgeprägte Schmerzen auf der anderen Seite verstärkt bemerkbar machen und der Patient unter neuen Schmerzen leidet. Ferner ist präoperativ zu beachten, daß keine Allocheirie vorliegt, und mit welcher Wahrscheinlichkeit der Primärtumor sich auf die andere Seite ausbreitet oder Metastasen austreut. Die vorgenannten Umstände sind wohl für die im Langzeitverlauf (ca. 6 Mon.) auf 60-70% sinkende Erfolgsrate verantwortlich.

Um diese Probleme zu vermeiden, empfehlen Mansuy et al. bei unilateralen, mittelständigen und natürlich bilateralen Beckenschmerzen, grundsätzlich die bilaterale Chordotomie durchzuführen. Cowie und Hitchcock sammelten ähnliche Erfahrungen und sind der gleichen Meinung. White und Sweet haben gezeigt, daß Zweit- und Drittchordotomien kaum vermögen, Residual- oder neu auftretenden Schmerz zu beherrschen. Sie erzielten in nur 20% Remissionen bei reoperierten Patienten.

Bei Schmerzen in der Kopf- und Nackenregion ist die Chordotomie ungeeignet, da kein genügend hohes Analgesieniveau erzielt werden kann.

Bei unilateralem Vorgehen halten sich die Komplikationen noch in Grenzen, während das Risiko bei bilateraler Chordotomie signifikant erhöht ist (auf ca. das Doppelte, Nathan). In 0-14% der Fälle tritt eine leichte Hemiparese auf - bei zervikaler Chordotomie vor allem am Arm (0-8%, Pisco) -, die sich aber meist innerhalb einer Woche zurückbildet. Bei 5-10% der Patienten ist eine Blasenfunktionsstörung zu beobachten - insbesondere bei Patienten mit lumbosakralen Schmerzen und Karzinomen im Beckenbereich. Eine Hypotension ist selten (0-3%). Besonders verhängnisvoll wirkt sich eine Verletzung der respiratorischen retikulo-spinalen Bahnen auf die Lungenfunktion bei Lungenkarzinompatienten aus. Schmerzen aufgrund von Lungenkrebs sollten daher nicht mit einer Chordotomie angegan-

gen werden, sondern eher mit einer kommissuralen Myelotomie. Respiratorische Störungen werden in 0,5-6% der Fälle angegeben.

Die Letalitätsrate beträgt 3,2-5%.

	Chordotomiehöhe	Patientenzahl	sofortige Schmerz-besserung	langdauernde Schmerz-besserung
White, Sweet '69	thor.	300	75%	65%
Piscot '72		80		80%
Piotrowski, Panitz '75	thor.	13	80%	(50% Schmerz-rezidive)
Piscot '75 (12 Autoren)		1385	72-88%	
Piscot '75		300		65%
Mansuy et al. '76	zerv./bilat.	59	85%	64%
	zerv./unilat.	39	51%	33%
Kuhner '76	zerv./unil.	25	68%	40%
Cowie, Hitchcock '82	zerv./thor.	43	95%	73%

} 6 Mon.

- perkutane Chordotomie:

Der perkutane Zugang hat seit Ende der sechziger Jahre die offene Chordotomie weitgehend abgelöst, da hierbei kein großer Eingriff mehr notwendig ist und somit die Indikation für eine Chordotomie erweitert wurde. Auch Patienten mit schlechtem Allgemeinzustand und höherem Alter kommen für die perkutane Chordotomie in Frage.

Hinsichtlich der Mortalität und neurologischer Komplikationen unterscheidet sich die perkutane von der offenen Chordotomie nicht signifikant (Kuhner, White & Sweet). Auch bei der perkutanen Technik ereignen sich in 0-6% der Fälle respiratorische Störungen im Sinne einer schlafinduzierten Apnoe. Gildenberg konnte mit seiner Methode respiratorische Komplikationen verhindern (s. Kap. 2.1.3). Lipton et al. und Schwarcz entwickelten ein stereotaktisches anteriores perkutanes Chordotomieverfahren, mit dem die deszendierenden respiratorischen Bahnen geschont werden, was aber technisch

schwierig durchzuführen ist.

Abschließend sei angemerkt, daß die Chordotomie auch heute noch eine der erfolgreichsten Methode zur Behandlung von Malignomschmerzen darstellt, speziell bei Patienten mit kürzerer Lebenserwartung, da sie Schmerzrezidive dann nicht mehr erleben.

SERIES	N° of cardio- mas.	PAIN RELIEF		RECURRENCE	paralysis	COMPLICATIONS			MORTALITY	
		immediate	long term			respiratory disturbance	bleeding disturbance	hypotension		
Greco et al. ² 1978	131	76.8%		18.8%	1%	2.1%	6.7%	0%	1%	
Kuhner ³ 1976	52	72.5%	59%	22.7%	14.8%	5.7%	4%	0%	4.5%	
Tanzer ⁴ 1976	199	96%	85%		0%	0.5%	8%	0%	0.5%	
Beitzing et al. ⁵ 1975	72	100%		12.7%	2.2%	1.8%	1.8%	0%	1.8%	
Lorenz et al. ⁶ 1975	224	85%	60%	30%	1%	3.5%	7.6%	2.2%	3%	
Rossmoell ⁷ 1974	1279	> 90%	84%		5%	3%	2%	0%	0%	
Hicelle, Cioni, 4314	53	73%	60%		9%	6,8%	4,5%		9%	

3.3.2. Kommissurale Myelotomie

Die zervikale Myelotomie ist im Unterschied zur Chordotomie sehr gut für Patienten mit Armschmerzen oder Lungenkrebs mit Pleurabeteiligung geeignet, wobei die Lungenfunktion beeinträchtigt sein kann und die Patienten eine kurze Lebenserwartung haben. Auch bilaterale Schmerzen in der Abdominalregion (abgesehen vom Beckenbereich, Cook et al.) und den Beinen sind einer tieferen Myelotomie (ab Th12) zugänglich.

Die kommissurale Myelotomie ist insoweit vorteilhaft, als nur kreuzende Fasern für Schmerz- und Temperaturwahrnehmung in der vorderen Kommissur und extralemniskale Bahnen im grauen Mark durchtrennt werden. Es resultiert in den entsprechenden Dermatomen eine bilaterale Analgesie und Thermanästhesie.

Bezüglich der Komplikationen können sich postoperative Dysästhesien, propriozeptive und somatomotorische Störungen für den Patienten auf lange Zeit sehr beeinträchtigend auswirken. Blasen-, Enddarmfunktionsstörungen und Beinschwäche kommen viel seltener vor als bei der Chordotomie (Šourek).

Trotz der sehr guten Ergebnisse sind alle Autoren zurückhaltend, da selbst bei mikrochirurgischem Vorgehen das Trauma für das Rückenmark größer und der Eingriff selbst technisch komplizierter und für den Patienten belastender ist als bei der Chordotomie.

	Technik	N	Pat.zahl mit 50-100% Schmerz- besserung	Beobachtungs- zeitraum (Monate)
Grunert et al. 1970		9	9	1
Hitchcock 1974	zerv. stereot.	19	13	1-6
Schvarcz 1976	stereot. extralemn.	35	29	Ø 6
Papo 1976	zerv. posterior	9	5	1-12
Šourek 1977	zerv. posterior	26	23	3-8
Cook, Kawakami 1977	posterior	16	14	
King 1977	anterior	6	6	4-6

3.3.3. Spinale Nervenblockade

- intrathekale chemische Rhizotomie:

Der intrathekale Block wird entweder mit Phenol oder Alkohol durchgeführt.

Gute Resultate wurden vor allem bei gut lokalisierbaren, uni-/bilateralen thorakalen (unterhalb Th 6), abdominalen, inguinalen und lumbalen Schmerzen erzielt, ebenso bei Gürtel- und Knochen-schmerzen (Papo und Visca).

Postoperativ werden beobachtet sensorische Defizite (in 3% Taubheitsgefühl), Muskelschwäche (~3%), Blasenlähmung (5%) und Arachnoiditis.

Die Wirkung der chemischen Rhizotomie hält in der Regel 2-4 Monate an, im allgemeinen lange genug, um die Patienten bis zum Ende schmerzfrei zu halten.

	Patienten- zahl	Pat.anteil mit 50-100% Schmerz- besserung
ALKOHOL:		
Hay 1962	252	46%
Kuzuko et al. 1966	322	58%
PHENOL:		
Kühner, Assmus 1975	596	50%
Brown 1976	114	68%
Lifshitz 1976	90	77%
Papo, Visca 1979	290	40%
Swerdlow 1979	130	64%

- offene dorsale Rhizotomie:

Versagt die chemische Rhizotomie, kann die offene posteriore Rhizotomie durchgeführt werden; jedoch nur bei Patienten mit nicht zu schlechtem Allgemeinzustand und bei denen der Schmerz streng auf ein paar Segmente begrenzt ist. Mindestens fünf Wurzeln müssen durchgeschnitten werden, um ein Dermatom von Schmerzen zu befreien. Ein Vorteil ist, daß der Patient nur einen leichten Sensibilitätsverlust verspürt und keine quälenden Dysästhesien auftreten (Piscoll).

Grundsätzlich kann die posteriore Rhizotomie auf jedem Niveau durchgeführt werden. Bei einer extensiven zerviko-brachialen Rhi-

zotomie (Pancoast-Tumor) ist zu bedenken, daß die Arme postoperativ funktionsunfähig sind (Papo). Sindou et al. führen in diesen Fällen erfolgreich "selektive posteriore Rhizidiotomien" durch, wobei nur schmerzleitende Fasern im Lissauer Trakt durchtrennt werden. Jedoch ist auch hierzu eine ausgedehnte Laminektomie notwendig.

Die sakrale Rhizotomie birgt ein hohes Risiko für die Blasen- und Rektumsphinkterfunktion, was jedoch bei vorangegangener Kolostomie von geringerer Bedeutung ist.

Die Ergebnisse der verschiedenen Autoren variieren sehr stark die Erfolgsquoten schwanken zwischen 28% (Onofrio, Campa) und 81% (Echols). Dies ist wohl auf unterschiedlich lange Beobachtungszeiten zurückzuführen.

	Patientenzahl	Pat.anteil mit 50-100% Schmerzbesserung
White & Sweet 1969	34	44%
Loeser 1972	13	43% 3 Mo.
Onofrio & Campa 1972	18	28%
Barash & Leavens 1973	71	71% ø 10,5 Mo.
Felsöory & Crue 1976	28	71%
Echols (siehe Pisco)	31	81%

3.3.4. Hirnstimulation

Bei bilateralen oder mittelständigen Schmerzzuständen diffuser und tiefer Natur, die bei ausgedehnten Tumoren mit Metastasen auftreten können, empfiehlt sich die Elektrostimulation des endophinen paleospinothalamischen Systems. Das neospinothalamische System (VPL, VPM) ist, wie die Ergebnisse Mazars zeigen, für die Schmerzbehandlung maligner Genese gänzlich ungeeignet.

Die Resultate stimmen äußerst zuversichtlich, jedoch ist der Patientenpool, statistisch betrachtet, nicht relevant. Außerdem arbeiten die Stimulationssysteme technisch noch nicht sehr zuverlässig.

	Implanta- tionsort	Patien- tenzahl	Pat.zahl mit 50-100% Schmerz- besserung	Beobach- tungszeit (Monate)
Ray, Burton, Lifson (1981)	Centr.med., parafasz. Thalamus	5	4	3-52
Adams, Hosobuchi	PVG	7	5	1-32
Richardson (1979)	PVG	6	6	2-5
Mazars (1979)	VPL,VPM	17	0	

3.3.5. Stereotaktische Operationen

Stereotaktische Eingriffe im Gehirn kommen allenfalls als "ultima ratio" bei anders kaum zu beeinflussenden Schmerzen im Nacken-, Kopf- und Armbereich in Frage, und wenn eine bilaterale Tumorausdehnung in der oberen Thoraxregion vorliegt. Eine stereotaktische Operation kann auch bei schlechtem Allgemeinzustand (mit eingeschränkter Lungenfunktion) und kurzer Lebenserwartung (2-3 Monate) durchgeführt werden.

Es muß mit ernststen Komplikationen gerechnet werden:

Parinaud-Syndrom, Dysästhesien, Tremor und Ataxie, besonders bei bilateralem Vorgehen, wobei die bilaterale Operation bei längerer Überlebenszeit die besten Erfolge erzielte (s. Kap. 2.3.).

Die Letalitätsrate bewegt sich zwischen 0-7%.

Die posteromediale Thalamotomie hat sehr gute Ergebnisse aufzuweisen. Die Erfolgsrate beträgt insgesamt 60-90% bei einer durchschnittlichen Überlebenszeit von 3-4 Monaten (Sugita, Sano, Tasker, Hitchcock & Teixeira).

Läsionen in den intralaminaren Thalamuskernen haben im Unterschied zu denen im spezifischen somatosensorischen Thalamus keine Sensibilitätsverluste in der kontralateralen Körperhälfte zur Folge.

In der Wirkung ähnlich ist die Pulvinarotomie von Siegfried und Yoshii, die auch gute Resultate aufzuweisen hat. Allerdings profitierte nach einem Jahr nur noch die Hälfte der Patienten von einer über 50%igen Schmerzbesserung (Yoshii).

Mazars verzeichnet bei seiner Serie von 152 Patienten ebenfalls sehr gute Resultate (bei 87%).

Die Ergebnisse der posteromedialen Hypothalamotomie von Sano

und Mayanagi liegen ähnlich günstig wie bei der posteromedialen Thalamotomie.

Die Cingulotomie ist vor allem bei Schmerzzuständen mit starker emotionaler Beteiligung zu empfehlen. Foltz hat seine Patienten 6-18 Monate lang beobachten können, sodaß seine Ergebnisse als hervorragend einzustufen sind. Dieser psychochirurgische Eingriff geht angeblich nicht mit Persönlichkeitsveränderungen und Intellektreduktion einher.

Autor	Ziel	Patienten- tanzahl	Pat.zahl mit 50-100% Schmerz- besserung	Beobachtungs- zeit (Monate)
Sugita 1972	Centrum medianum, Nu. med. dors.	44	35	0,25
Hitchcock, Teixeira 1981	Centrum medianum (+ Nu. ventrocaud. parvocellularis)	8	8	ø 7
	Nu. ventrocaud. parvocell. + Nu. limitans	6	4	ø 3
Fairman, Lavallol 1973	Nu. intralam. + Centrum med.	165	115 (70%)	ø 6
Sano 1979	Nu. intralam.	8	4	12
Tasker 1982	Nu. intralam. + mesenzeph. spino- thal. Trakt	13	8	ø 4
Mazars 1975	mesenzeph. spino- thal. Trakt (unilat.)	152	132 (87%)	3-7
Barberá et al. 1979	metenzeph. spino- thal. Trakt	5	4	3
Sano 1979	posteromed. Hypothal.	13	9	3
Mayanagi et al. 1982	"	9	9	ø 6
Siegfried 1977	Pulvinar	8	7	2
Yoshii 1980	"	19	10	>12
Foltz 1977	Cingulum	16	13	6-18

3.3.6. Rückenmarkstimulation

Wie aus nachstehenden Daten abzulesen ist, hat sich die Rückenmarkstimulation bei der Behandlung von Malignomschmerzen nicht bewährt. Chordotomie und Hirnstimulation weisen weit bessere Ergebnisse auf.

	Patientenzahl	Pat. zahl mit 50-100% Schmerz- besserung
Nielson, Adams & Hosobuchi 1975	16	10
Winkelmüller, Dietz & Stolke 1975	14	4 <30 Monate
Shelden et al. 1975	17	8
Broseta et al. 1982	11	0 $\varnothing$ 1 Monat

3.3.7. Evaluation der verschiedenen Schmerzoperationen in Abhängigkeit von der Malignom- bzw. Schmerzlokalisation *

Lokalisation des Malignoms bzw. der Schmerzen	offene Chordotomie			perkutane Chordotomie		komm. Myelotomie	paleo-spino-thal. Stim.	stereotakt. Operationen		Rückenmark-stim.
	unil. zerv.	bila. zerv.	thor.	unil. zerv.	bila. thor.			unilat.	bilat.	
Kopf und Nacken							+	+		
Lunge						++	+++	++	+	
Obere Körperhälfte, unilateral	+			+++			+	+		
Obere Körperhälfte, bilateral						+	++		+	
Bis zur oberen Körperhälfte, unil.	+			+++	(+) ¹⁾		+	+		
Bis zur oberen Körperhälfte, bil.		+		++		+	++	+		
Beckenbereich					++	++	++	++	+	
Untere Körperhälfte, unilateral	+	(+) ¹⁾	++	++	+		(+) ¹⁾			
Untere Körperhälfte, bilateral			++		++	++	++	+		
Arm							++		+	
Bein			+	+	(+) ¹⁾		++		+	

Diese Übersicht soll als Orientierungshilfe dienen und versucht gleichzeitig, Empfehlungen zugeben. Bei der Bewertung wurde das jeweilige Komplikationsrisiko mit einbezogen. Ebenso wichtige Faktoren wie Alter, Allgemeinzustand und Lebenserwartung des einzelnen Patienten konnten in dieser Art der Darstellung nicht berücksichtigt werden. ¹⁾ Das Kreuz in Klammern bedeutet, daß die Op. nur in Ausnahmefällen indiziert ist

*erweitert nach Pisco (104)

3.4. Behandlung von postherpetischen Schmerzen

Nach Abheilung einer Herpes-Zoster-Infektion können in seltenen Fällen (vor allem bei älteren Menschen) äußerst starke und schwer beeinflussbare Neuralgien zurückbleiben. Im Zuge der Demyelinisierung kommt es bei den betroffenen Nerven zu einem Mangel an propriozeptiver Information, was sich als Deafferentierungsschmerzen manifestiert. Es entstehen hyperästhetische Zonen, in denen Schmerzwahrnehmung durch Berührungsreize an der Hautoberfläche getriggert wird. Es kann sich auch eine Anästhesia dolorosa entwickeln.

Die Inzidenz einer Neuralgie nach Herpes Zoster ist im Trigeminusgebiet am größten, wo sie ca. 20% beträgt (Siegfried).

Für eine Behandlung bieten sich verschiedene Möglichkeiten an in folgender Abstufung:

- 1) TENS
- 2) Kryokauterung
- 3) neospinothal. Elektrostimulation
- 4) Stereotaktische Operationen im Mesenzephalon
- 5) Myelotomie
- 6) Chordotomie

3.4.1. Transkutane Elektrische Nervenstimulation (TENS)

Gerade für die Behandlung postherpetischer Neuralgien ist die TENS sehr gut geeignet, da die hyperästhetischen Triggerpunkte durch gezielte Stimulation ausgeschaltet werden können. Insgesamt sind in ca. einem Drittel der Fälle gute bis sehr gute Resultate zu erzielen.

Obwohl es manche Patienten beeinträchtigend finden, das externe Stimulationssystem tragen zu müssen, und die Erfolgsrate im Zeitverlauf sinkt, ist die TENS bei der Behandlung der postherpetischen Neuralgie auf jeden Fall einen Versuch wert, da sie für den Patienten vollkommen unschädlich ist.

	Patien- tenzahl	Pat.zahl mit 50-100% Schmerz- besserung	Beobachtungs- zeit (Monate)
Nathan & Wall 1974	30	10	
Ray 1975	5	3	7
Long et al. 1979	11	4	12
Ventafridda et al. 1979	8	6	1

3.4.2. Kryokauterung

Ein einfaches Verfahren ist die Kryokauterung der hyperästhetischen Triggerpunkte mit festem Kohlendioxyd. Dadurch wird die Sensibilität dieser Triggerpunkte herabgesetzt und die Schmerzintensität stark verringert oder aufgehoben.

Die Methode von Suzuki et al. wurde bisher in der Behandlung von Dermatitis und Naevi angewandt. In Intervallen von 2-3 Wochen führte Suzuki im Durchschnitt achtmal eine Kryokauterung bei 14 Patienten mit postherpetischen Neuralgien durch. Gute bis sehr gute Ergebnisse ergaben sich bei 10 Patienten bei einer Beobachtungszeit von durchschnittlich 18 Monaten.

Nach Abheilung der Blase bleibt ein depigmentierter Fleck zurück. Die Schmerzen verschwinden bzw. verringern sich sofort nach der Prozedur.

3.4.3. Stimulation des primär sensomotorischen Thalamus

Postherpetische Schmerzen sprechen auf Stimulation des paleospinothalamischen Systems gar nicht und auf primär sensomotorische Thalamusstimulation nicht besser an als auf TENS, wenn man die Ergebnisse vergleicht.

Siegfried erzielte mit der Stimulation des N.ventralis postero-medialis bei postherpetischen Neuralgien im Gesicht das beste Resultat: 8 von 10 Patienten wurden im Langzeitverlauf gut bis sehr gut gebessert. Siegfried hatte im Unterschied zu anderen Autoren keine technischen Probleme oder andere Komplikationen.

		Patientenzahl	Pat.zahl mit 50-100%Schmerzbesserung	Beobachtungszeit (Monate)
Mundinger 1977	Leinn.med.	3	2	Ø21
Mazars 1979	VPL, VPM	11	5	
Hosobuchi 1980	VPM	3	1	<1
Siegfried 1982	VPM	10	8	Ø11
Dieckmann, Witzmann 1982	VPL	3	2	

3.4.4. Stereotaktische Operationen

Bei der Behandlung von postherpetischen Neuralgien sind stereotaktische Interventionen höchstens als letzter Ausweg in Erwägung zu ziehen. Das Zahlenmaterial ist daher äußerst dürftig und nicht aussagekräftig.

	Ziel	Patientenzahl	Pat.zahl mit 50-100% Schmerzbesserung	Beobachtungszeit
Hitchcock & Teixeira 1981	N.ventrocaud. parvocell.+ N.limitans	6	3	2-18 Mon.
Sano 1973	posteromed. Hypothalamus	2	0	
Siegfried 1977	Pulvinar	4	1	3Tage-3Jahre

3.4.5. Myelotomie und Chordotomie

Bezüglich der Indikation gilt das unter 3.4.4. Gesagte. Dank anderer weniger einschneidender Methoden wird die Chordotomie und Myelotomie zur Behandlung von postherpetischen Schmerzzuständen heute nicht mehr angewandt.

		Patientenzahl	Pat.zahl mit 50-100% Schmerzbesserung	Beobachtungszeit
Schvarcz (1976)	stereot. extralemn. Myelotomie	3	2	>11 Mon.
White (1968)	offene Chordotomie	7	4	1-20 Jahre

4. Diskussion und Zusammenfassung

Abschließend sollen die einzelnen Verfahren hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile und der Hauptindikationen evaluiert werden.

Obwohl Langzeitbeobachtungen belegen, daß bei der antero-lateralen Chordotomie der Schmerz in insgesamt 50-60% der Fälle wiederkehrt und daß mit ernststen Komplikationen gerechnet werden muß (schlafinduzierte Apnoe bei zervikaler Chordotomie), hat die anterolaterale Chordotomie ihre Indikation vor allem bei Malignomschmerzen der unteren Körperhälfte bei Patienten mit kürzerer Lebenserwartung behalten. Bilaterales Vorgehen erhöht das Komplikationsrisiko auf ca. das Doppelte. Heutzutage wird vornehmlich die perkutane Technik angewandt, da auf diese Weise auch Patienten mit schlechtem Allgemeinzustand und höherem Alter behandelt werden können. Hinsichtlich der Letalität und der neurologischen Komplikationen unterscheidet sich die perkutane von der offenen Chordotomie nicht signifikant. Postamputations- und postherpetische Schmerzen erwiesen sich für die Chordotomie als ungeeignet.

Die periphere Nervenblockade ist zwar ein einfach durchzuführendes Verfahren, hat jedoch nur in seltenen Fällen bleibenden Erfolg. Die kontralaterale lokale Anästhesie wurde bei Phantom- und Stumpfschmerzen angewandt und die Alkoholverödung bei Stumpfneuromen.

Die spinale Nervenblockade in Form der intrathekalen chemischen Rhizotomie vermag thorakale (unterhalb Th6), abdominale, inguinale und lumbale Malignomschmerzen über 2-4 Monate bei 50-70% der Patienten gut bis sehr gut zu bessern. Dasselbe gilt für Gürtel- und Knochenschmerzen. Eine weitere Möglichkeit ist die offene dorsale Rhizotomie für denselben Patientenkreis, die jedoch wegen ihrer hohen Risiken bezüglich der Blasen- und Rektumsphinkterfunktion bzw. der Armfunktion (bei oberer Rhizotomie) möglichst nicht durchgeführt werden sollte. Berücksichtigt werden muß, daß eine ausgedehnte Laminektomie über mindestens fünf Wurzeln notwendig ist.

Stereotaktische Eingriffe im Gehirn kommen - allenfalls als "ultima ratio" - bei anders kaum zu beeinflussenden Malignomschmerzen im Nacken-, Kopf- und Armbereich und bei einer bilateralen Tumorausdehnung in der oberen Thoraxregion in Betracht. Eine stereotaktische Operation kann auch bei schlechtem Allgemeinzustand (eingeschränkte Lungenfunktion) des Patienten durchgeführt werden. Bilaterales Vorgehen zeigt hier die besten Erfolge, wobei allerdings das Komplikationsrisiko erhöht ist. Die Letalitätssrate bewegt sich zwischen 0-7%. Technische Defekte sind häufig. Die Ergebnisse der Thalamotomie, Hypothalamotomie, Mesenzephalotomie und Pulvinarotomie sind insgesamt sehr günstig, wenn man von ernststen Komplikationen wie Dysästhesien, Parinaud-Syndrom, Tremor, Ataxie, Nystagmus und Hemiparesen absieht. Die Cingulotomie ist vor allem bei Schmerzzuständen mit starker emotionaler Beteiligung zu empfehlen. Dieser psychochirurgische Eingriff geht angeblich nicht mit Persönlichkeitsveränderungen oder Intellektreduktion einher. Bei der Behandlung von Postamputations- und postherpetischen Schmerzen versagen stereotaktische Interventionen.

Außerst geringe Erfahrungen wurden bis jetzt mit der peripheren Nervenstimulation gewonnen. Technische Probleme sind erst noch zu bewältigen. Trotzdem scheinen die Ergebnisse von Picaza et al. und Long et al. bei Stumpf- und Phantomschmerzen zu größeren Hoffnungen zu berechtigen.

Die transkutane elektrische Nervenstimulation (TENS) stellt ohne Zweifel eine wertvolle, relativ einfache und nicht invasive Therapiemaßnahme dar bei Kausalgien, Phantom-, Stumpfschmerzen und postherpetischen Neuralgien. Ein nach längerer Zeit zu beobachtendes Adaptationsphänomen kann durch frequenz- und amplitudenmodulierte Impulsgebung in vielen Fällen verhindert oder zumindest hinausgeschoben werden.

Die offene Implantation eines Rückenmarkstimulationssystems wurde zugunsten der weniger traumatischen und risikoärmeren perkutanen Einpflanzung verlassen. Die Laminektomie ist nur noch in Einzelfällen notwendig. Um reaktive Verdickungen der Dura und Arachnoidea zu vermeiden, bevorzugen die meisten Autoren die

endodurale Stimulation. Hierbei ist jedoch eine höhere Ausgangsreizstärke erforderlich. Technische Probleme bedingen wiederholte Rehospitalisationen und Reoperationen. Recht günstig sind die Ergebnisse bei den verschiedenen Postamputationsschmerzarten. Sie rechtfertigen auf jeden Fall einen Versuch, wenn die TENS schon erfolgreich war. Bei der Behandlung von Malignomschmerzen hat sich die Rückenmarkstimulation nicht bewährt.

Bei der Hirnstimulation kann sowohl das endophinerge paleospinothalamische als auch das neospinothalamische (spezifischer somatosensorischer Thalamus) Schmerzsystem elektrisch stimuliert werden. Es besteht jedoch Uneinigkeit darüber, welches Schmerzsystem bei Deafferentierungsschmerzen zu stimulieren ist. Im Vergleich überzeugt jedoch Mazars' neospinothalamische Stimulation des Nucleus ventralis posterolateralis aufgrund seines großen Patientenerfolgs und seiner hervorragenden Ergebnisse. Einer Toleranzentwicklung kann durch Verabreichung von trizyklischen Antidepressiva und von Disulfiram entgegengesteuert werden.

Die Elektrostimulation des paleospinothalamischen Systems eignet sich vor allem zur Beeinflussung von Schmerzzuständen maligner Genese.

Eine adäquate Beurteilung der verschiedenen Behandlungsmaßnahmen krankt zumeist an den geringen Fallzahlen und den unterschiedlichen Maßstäben, die bei der Erfolgsbewertung angelegt werden.

Innerhalb des Postamputationsschmerzkreises ist zu differenzieren zwischen Phantom-, Stumpfschmerzen und Kausalgien, die einzeln oder kombiniert auftretend verschiedene Behandlungsmethoden erfordern. Grundsätzlich ist im Sinne einer Eskalationsbehandlung vorzugehen: bei Versagen der einfachen, nicht traumatischen Verfahren wird zu invasiveren, risikoreicheren Methoden gegriffen.

Am Anfang bietet sich die kontralaterale lokale Anästhesie von hyperalgetischen Punkten an. Die Alkoholverödung und/oder Neuromresektion ist praktisch wirkungslos. Als nächstes kommen die verschiedenen Stimulationsverfahren in Frage, von denen die periphere Nervenstimulation noch zuwenig erprobt ist. Die transkutane elektrische Nervenstimulation (TENS) dient meist als Übergang zur

epiduralen Rückenmarkstimulation. Dabei verändern sich die Phantomempfindungen individuell, der tägliche Hintergrundschmerz verschwindet, schwere Schmerzattacken jedoch können nicht genügend mit der Stimulation allein unterdrückt werden. Mazars hervorragende Ergebnisse mit der Stimulation des Nucleus ventralis posterolateralis verleihen auch der Hirnstimulation einen wichtigen Stellenwert in der weiteren Behandlung.

Von stereotaktischen Eingriffen und der Chordotomie ist abzuraten.

Kausalgien sprechen gut auf Sympathektomie, TENS, Rückenmarkstimulation und Myelotomie an, wobei eigentlich nur bei der Sympathektomie ausreichendes Zahlenmaterial für eine adäquate Beurteilung zur Verfügung steht.

Die Wahl des geeignetsten Verfahrens bei Malignomschmerzen ist ganz entscheidend von der Lokalisation und Ausbreitungsgeschwindigkeit des Malignoms bzw. der Schmerzen und vom Allgemeinzustand des Patienten abhängig. Ist der bösartige Tumor im Nacken-, Arm- oder Kopfbereich lokalisiert, kommen nur eine Stimulation des endophineren paleospinothalamischen Systems oder eine stereotaktische Intervention in Frage. Für die obere Körperhälfte gilt dasselbe, wobei noch die Möglichkeit der zervikalen Chordotomie hinzukommt. Bis zur oberen Körperhälfte sind die Rhizotomie und die Chordotomie anwendbar und in der unteren Körperpartie die ganze Palette der aufgezählten Verfahren einschließlich der kommissuralen Myelotomie.

Da Krebspatienten, deren Schmerzen anders nicht mehr zu beeinflussen sind, in der Regel keine lange Lebenserwartung haben, erleben sie kaum Schmerzrezidive, vorausgesetzt, daß das nach allen Kriterien geeignetste Verfahren ausgewählt wurde.

Bei der Behandlung von postherpetischen Neuralgien sind die TENS und die Kryokauterung auf jeden Fall einen Versuch wert. Die Stimulation des Nucleus ventralis posterolateralis und medialis stellt eine weitere, jedoch belastendere Möglichkeit dar.

Stereotaktische Eingriffe, Myelotomie und Chordotomie sind nur als letzter Ausweg zu betrachten.

5. Literaturverzeichnis

1. Amano, K., Kitamura, K., Sano, K., Sekino, H.: Relief of intractable pain from neurosurgical point of view with reference to present limits and clinical indications. A review of 100 consecutive cases. *Neurol. Medico-chirur.* 16 (1976) 141-153
2. Amano, K., Iseki, H., Notani, M., Kawabatake, H., Tanikawa, T., Kawamura, H., Kitamura, K.: Rostral mesencephalic reticulotomy for pain relief - report on 15 cases. *Acta Neurochir., Suppl.* 30 (1980) 391-393
3. Arnér, S.: The role of nerve blocks in the treatment of cancer pain. *Acta anaesth. scand., Suppl.* 74 (1982) 104-108
4. Ashby, E.: Abdominal pain of spinal origin. Value of intercostal block. *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 59 (1977) 242-246
5. Atkinson, J.R.: Stereotactic approach to pain problems, pain control seminar. *Ariz. Med.* 26 (1969) 1010
6. Barberá, J., Barcia-Salorio, J., Broseta, J.: Stereotactic Pontine Spinothalamic Tractotomy. *Surg. Neurol., Vol.1* (1979) 111-114
7. Barrash, J.M., Leavens, M.E.: Dorsal rhizotomy for the relief of intractable pain of malignant origin. *J. Neurosurg.* 38 (1973) 755-758
8. Bettag, W.: Results of treatment of pain by interruption of the medial pain tract of the brainstem. In: *Proceedings of the third International Congress of Neurological Surgeons.* Amsterdam, Oxford: Excerpta Medica 110 (1975) 771-775
9. Bettag, W., Wandt, H., Roosen, K.: Pain treatment of advanced malignant diseases by high cervical percutaneous cordotomy. *Advances in Neurosurg.* 3 (1975) 186-189
10. Black, P.: Management of cancer pain: an overview. *Neurosurg.* 5 (1979) 507-518
11. Bonica, J.: Causalgia and other reflex sympathetic dystrophies. *Advances in Pain Research and Therapy, Vol.3.* Raven Press, New York (1979) 141-166
12. Bonica, J.: Introduction. *Acta anaesth. scand. suppl.* 74 (1982) 5-10
13. Burton, Ch.: Dorsal column stimulation: Optimization of application. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 171-179
14. Burton, Ch.V.: Safety and clinical efficacy. Session on spinal cord stimulation. *Neurosurg.* 1 (1977) 214-218
15. Burton, C.V., Ray, C.D., Nashold, B.S.: Symposium on the safety and clinical efficacy of implanted neuroaugmentive devices. *Neurosurg.* 1 (1977) 185-232
16. Broseta, J., Roldan, P., Gonzalez-Darder, J., Bordes, V., Barcia-Salorio, J.L.: Chronic epidural dorsal column stimulation in the treatment of causalgic pain. *Proc. 8th Meeting World Soc. Stereotactic and Functional Neurosurgery, Part 1, Zürich 1981. Appl. Neurophysiol.* 45 (1982) 190-194

17. Brown, A.S.: Pain relief in malignant disease. Symposium on malignant disease. Roy. Coll. Phys. Edin., Publication No. 47 (1976)
18. Campbell, D.T., Taub, A.: Local analgesia from percutaneous electrical stimulation: A peripheral mechanism. Archives of Neurology 28 (1973) 347-350
19. Campbell, J.N.: Examination of possible mechanisms by which stimulation of the spinal cord in man relieves pain. Seminar on Spinal Cord Stimulation, New York 1980. Appl. Neurophysiol. 44 (1981) 181-186
20. Cowie, R.A., Hitchcock, E.R.: The late results of antero-lateral cordotomy for pain relief. Acta Neurochir. 64 (1982) 39-49
21. Davies, G.K., Tolhurst-Cleaver, C.L., James, T.L.: CNS depression from intrathecal morphine. Anesthesiology 52 (1980) 280
22. Dieckmann, G.: Central stereotactic interventions for intractable pain. Advanc. Neurosurg. 3 (1975) 229-235
23. Dieckmann, G., Krainick, J.-U., Thoden, U.: Stereotaxic induction stimulation for pain. In: Stereotaxy of the Human Brain, Ed. G. Schaltenbrand and E. Walker, Georg Thieme Verlag Stuttgart (1982) 498-502
24. Dieckmann, G., Witzmann, A.: Initial and long-term results of deep brain stimulation for chronic intractable pain. Proc. 8th Meeting World Soc. Stereotactic and Functional Neurosurgery, Part I, Zürich 1981. Appl. Neurophysiol. 45 (1982) 167-172
25. Entzian, W., Linke, D.: Experience with percutaneous cordotomy. Advanc. Neurosurg. 3 (1975) 190-198
26. Erickson, D.L., Long, D.M.: Long term evaluation of dorsal column stimulation for treatment of chronic pain. Pain Suppl. 1 (1981) 30
27. Fairman, D., Llavallol, M.A.: Thalamic tractotomy for the alleviation of intractable pain in cancer. Cancer 31 (1973) 700-707
28. Fairman, D.: Thalamic and hypothalamic stimulation. Advances in Pain Research and Therapy, Vol. 2, ed. by J.J. Bonica and V. Ventafridda. Raven Press, New York (1979) 493-498
29. Felsöőry, A., Crue, B.L.: Results of 19 years experience with sacral rhizotomy for perineal and perianal pain. Pain 2 (1976) 431-433
30. Foltz, E.: The role of the limbic system in pain interpretation. Ariz. Med. 26 (1969) 1033-1040
31. Foltz, E., White, L.R., Jr.: Affective disorders involving pain. In: Neurological Surgery ed. by Youmans, J., Vol. 3, Chapter 101. Saunders, W.B., Philadelphia (1973)

32. Foltz, E.: Psychosurgical approach to chronic pain (cingulotomy). In: Lee, J.F. (Ed.): Pain Management- Symposium on the Neurosurgical Treatment of Pain. Williams & Wilkins Comp., Baltimore (1977) 78-99
33. Forster, D., Leksell, L., Meyerson, B., Steiner, L.: Gamma-thalamotomie bei therapieresistenten Schmerzen. In: Schmerz, Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1972) 207-212
34. Gildenberg, P.L., DeVaul, R.A.: Management of chronic pain refractory to specific therapy. In: Neurolog. Surg. ed. by J. Youmans, Vol.6, Chapter 137. Saunders, W.B., Philadelphia (1982) 3749-3765
35. Gross, D.: Contralateral local anaesthesia in the treatment of phantom limb and stump pain. Pain, 13 (1982) 313-320
36. Grote, W., Roosen, K., Bock, W.J.: High cervical percutaneous cordotomy in intractable pain. Neurochirurgia 21 (1978) 209-212
37. Gutierrez-Lara, F.: Stereotactic cingulotomy: A rational and effective approach for causalgia (report of 14 cases). Exc. Med. 293 (1973) 38
38. Gybels, J.M.: Electrical stimulation of the central gray for pain relief in humans: A critical review. Advances in Pain Research and Therapy, Vol. 3, Ed. J.J. Bonica and V. Ventafridda, Raven Press, New York, (1979) 499-509
39. Harris, H.B.: Critical evaluation and the neurosurgical treatment of pain. Northwest Med. 69 (1970) 576
40. Hassler, R.: Die zentralen Systeme des Schmerzes. 1.Europ. Neurochir. Kongress Zürich. Acta Neurochir. (1959) 1-10
41. Hay, R.C.: Subarachnoid alcohol block in the control of intractable pain. Anaesth. Analg. Curr. Res. 41 (1962) 12
42. Hitchcock, E.: Stereotactic spinal surgery. J. Neurosurg. 31 (1969) 386-392
43. Hitchcock, E.: Stereotactic cervical myelotomy. J. Neurol., Neurosurg. and Psychiatry 33 (1970) 224-230
44. Hitchcock, E.: Stereotactic myelotomy. Proc.roy. Soc. Med. 67 (1974) 771-772
45. Hitchcock, E.D., Teixeira, M.J.: A comparison of results from center-median and basal thalamotomies for pain. Surg. Neurol. 15, (1981) 341-350
46. Hosobuchi, Y., Rossier, J., Bloom, F.E., Guillemin, R.: Periaqueductal gray stimulation for pain suppression in humans. Advances in Pain Research and Therapy, Vol. 3, Ed. J.J. Bonica and V. Ventafridda. Raven Press, New York (1979) 515-523
47. Hosobuchi, Y.: The current status of analgesic brain stimulation. Acta Neurochir., Suppl. 30 (1980) 219-227

48. Hunt, W.E., Goodman, J.H., Bingham, W.G., Jr.: Stimulation of the dorsal spinal cord for treatment of intractable pain: A preliminary report. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 153-155
49. King, R.B.: Anterior commissurotomy for intractable pain. *J. Neurosurg.* 47 (1977) 7-11
50. Krainick, J.-U., Thoden, U., Riechert, T., Tenschert, G.: Elektrische Hinterstrangreizung bei chronischen Schmerzen, klinische Erfahrung über zwei Jahre. *Neurochirurgia* 17 (1974) 162-170
51. Krainick, J.-U., Thoden, U., Riechert, T.: Spinal cord stimulation in post-amputation pain. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 167-170
52. Krainick, J.-U., Thoden, U., Riechert, T.: Pain reduction in amputees by long-term spinal cord stimulation. *J. Neurosurg.* 52 (1980) 346-350
53. Kühner, A., Assmus, H.: Intrathecal application of phenol in the treatment of intractable pain. *Advanc. Neurosurg.* 3 (1975) 256-261
54. Kühner, A.: La cordotomie cervicale percutanée. *Neuro-Chir.* 22 (1976) 261-280
55. Kuzucu, E.Y., Derrick, W.S., Wilber, S.A.: Control of intractable pain with subarachnoid alcohol block. *JAMA* 195 (1966) 133
56. Law, J.D., Swett, J., Kirsch, W.M.: Retrospective analysis of 22 patients with chronic pain treated by peripheral nerve stimulation. *J. Neurosurg.* 52 (1980) 482-485
57. LeRoy, P.L.: Stimulation of the spinal neuraxis by biocompatible electrical current in the human. Seminar on Spinal Cord Stimulation, New York 1980. *Appl. Neurophysiol.* 44 (1981) 187-193
58. Lifshitz, S., Debacker, L.J., Buchsbaum, H.J.: Subarachnoid phenol block for pain relief in gynecologic malignancy. *Obstet. Gynec.* 48 (1976) 3
59. Lippert, R.G., Hosobuchi, Y., Nielsen, S.L.: Spinal commissurotomy. *Surg. Neurol.* 2 (1974) 373-377
60. Lipton, S.: Percutaneous cervical cordotomy. *Proc. roy. Soc. Med.* 66 (1973) 607
61. Lloyd, J.W., Barnard, J.D.W., Glynn, C.J.: Cryoanalgesia - a new approach to pain relief. *The Lancet*, Oct. 30 (1976) 932-934
62. Loeser, J.D.: Dorsal rhizotomy for the relief of chronic pain. *J. Neurosurg.* 36 (1972) 745-750
63. Loeser, J.D., Black, R.G., Christman, A.: Relief of pain by transcutaneous stimulation. *J. Neurosurg.* 42 (1975) 308-314
64. Loeser, J.D.: Dorsal column and peripheral nerve stimulation for relief of cancer pain. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 2, ed. by J.J. Bonica and V. Ventafridda. Raven Press, New York (1979) 499-507

65. Long, D.M., Erickson, D.E.: Stimulation of the posterior columns of the spinal cord for relief of intractable pain. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 134-141
66. Long, D.M., Campbell, J.N., Gucer, G.: Transcutaneous electrical stimulation for relief of chronic pain. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 3, Ed. J.J. Bonica and V. Ventafridda. Raven Press, New York (1979) 593-599
67. Long, D.M., Erickson, D., Campbell, J., North, R.: Electrical stimulation of the spinal cord and peripheral nerves for pain control. *Seminar on Spinal Cord Stimulation*, New York 1980, *Appl. Neurophysiol.* 44 (1981) 207-217
68. Lorenz, R., Grumme, Th., Herrmann, H.-D., Palleske, H., Kühner, A., Steude, U., Zierski, J.: Percutaneous cordotomy. *Advanc. Neurosurg.* 3 (1975) 174-185
69. Maiwand, O., Markey, A.: Cryoanalgesia for relief of pain after thorakotomy. *Brit. Med. J.* 282 (1981) 1749-1750
70. Mansuy, L., Sindou, M., Fischer, G., Brunon, J.: La cordotomie spino-thalamique dans les douleurs cancéreuses. *Neuro-Chirurgie* 22 (1976) 437-444
71. Mayanagi, Y., Sano, K., Suzuki, I., Kanazawa, I., Aoyagi, I., Miyachi, Y.: Stimulation and coagulation of the posteromedial hypothalamus for intractable pain, with reference to beta-endorphins. *Proc. 8th Meeting World Soc. Stereotactic and Functional Neurosurg.*, Part 1, Zürich 1981. *Appl. Neurophysiol.* 45 (1982) 136-142
72. Mazars, G.J.: Intermittent stimulation of nucleus ventralis posterolateralis for Intractable pain. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 93-95
73. Mazars, G., Merienne, L., Cioloca, C., Prendeville, M.: Intermittent thalamic stimulation in the management of intractable pain. *Advanc. Neurosurg.* 3 (1975) 243-246
74. Mazars, G. et coll.: *Chirurgie de la douleur*. Masson (Ed.), Paris (1976)
75. Mazars, G.: Etat actuel de la chirurgie de la douleur. *Neurochirurgie (suppl.)* 22 (1976) 1-164
76. Mazars, G.J., Merienne, L., Cioloca, C.: Comparative study of electrical stimulation of posterior thalamic nuclei, periaqueductal gray and other midline mesencephalic structures in man. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 3, Ed. J.J. Bonica and V. Ventafridda. Raven Press, New York (1979) 541-546
77. Meglio, M., Cioni, B.: The role of percutaneous cordotomy in the treatment of chronic cancer pain. *Acta Neurochir.* 59 (1981) 111-121
78. Meglio, M., Cioni, B.: Personal experience with spinal cord stimulation in chronic pain management. *Proc. 8th Meeting World Soc. Stereotactic and Functional Neurosurgery*, Part 1, Zürich 1981. *Appl. Neurophysiol.* 45 (1982) 195-200

79. Melzack, R.: Phantom limb pain: Concept of a central biasing mechanism. *Clin. Neurosurg.* 18 (1971) 188-207
80. Meyerson, B.A.: The role of neurosurgery in the treatment of cancer pain. *Acta anaesth. scand. Suppl.* 74 (1982) 109-113
81. Mundinger, F., Becker, P.: Long-term results of central stereotactic interventions for pain. *Advanc. Neurosurg.* 3 (1975) 237-241
82. Mundinger, F., Becker, P.: Late results of central stereotactic interventions for pain. *Acta Neurochir., Suppl.* 24 (1977) 229
83. Mündinger, F.: Die Behandlung chronischer Schmerzen mit Hirnstimulatoren. *Dtsch. med. Wschr.* 102 (1977) 1724-1729
84. Mundinger, F., Salomão, J.F.: Deep brain stimulation in mesencephalic lemniscus medialis for chronic pain. *Acta Neurochir. Suppl.* 30 (1980) 245-258
85. Nashold, B., Wilson, W., Slaughter, D.: Stereotaxic midbrain lesions for central dysesthesia and phantom pain. *J. Neurosurg.* 30 (1969) 116-126
86. Nashold, B., Jr.: Stereotactic pain operations in the brain. *Exc. Med.* 320 (1973) 242-246
87. Nashold, B.S., Jr.: Dorsal Column Stimulation for control of pain: A three year follow-up. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 146-147
88. Nashold, B.S., Jr.: Overview of neuroaugmentation. *Neurosurg.* 1 (1977) 230-232
89. Nashold, B.S., Jr.: Brainstem stereotaxic procedures. In.: *Schaltenbrand and Walker: Stereotaxy of the Human Brain*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1982) 475-483
90. Nathan, P.W., Wall, P.D.: Treatment of postherpetic neuralgia by prolonged electrical stimulation. *Br. med. J.* iii (1974) 645-647
91. Nielson, K.D., Adams, J.E., Hosobuchi, Y.: Experience with dorsal column stimulation for relief of chronic intractable pain: 1968-1973. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 148-152
92. Nittner, K.: Localization of electrodes in cases of phantom limb pain in the lower limbs. *Proc. 8th Meeting World Soc. Stereotactic and Functional Neurosurgery, Part 1*, Zürich 1981, *Appl. Neurophysiol.* 45 (1982) 205-208
93. North, R.B., Fischell, T.A., Long, D.M.: Chronic stimulation via percutaneously inserted epidural electrodes. *Neurosurg.* 1 (1977) 215-218
94. Onofrio, B.M., Campa, H.K.: Evaluation of rhizotomy. Review of 12 years' experience. *J. Neurosurg.* 36 (1972) 751-755
95. Papo, I., Luongo, A.: High cervical commissural myelotomy in the treatment of Pain. *J. Neurol., Neurosurg. and Psychiatry* 39 (1976) 705-710

96. Papo, I., Visca, A.: Phenol Subarachnoid Rhizotomy for the Treatment of cancer pain: A personal account on 290 cases. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 2, ed. by J.J. Bonica and V. Ventafridda, Raven Press, New York (1979) 339-346
97. Papo, I.: Spinal posterior Rhizotomy and commissural myelotomy in the Treatment of cancer pain. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 2, ed. by J.J. Bonica and V. Ventafridda, Raven Press, New York (1979) 439-447
98. Papo, I.: Open Cordotomy in the treatment of cancer pain. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 2, ed. Bonica and Ventafridda. Raven Press, New York (1979) 449-451
99. Perneczky, A., Sunder-Plassmann, M.: Anterolateral cordotomy in cases of phantom limb pain. *Advanc. Neurosurg.* 3 (1975) 170-173
100. Picaza, J.A., Cannon, B.W., Hunter, S.E., Boyd, A.S., Guma, J., Maurer, D.: Pain suppression by peripheral nerve stimulation; Part II. Observations with implanted devices: *Surg. Neurol.* 4 (1975) 115-126
101. Pineda, A.: Dorsal column stimulation and its prospects. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 157-163
102. Piotrowski, W., Panitz, C.: Results after open cordotomy. *Advanc. Neurosurg.* 3 (1975) 174-177
103. Pischol, K.: Die spinalen Schmerzoperationen. In: *Handbuch der Neurochirurgie*, 7. Band, III. Teil. Ed. H. Olivecrona, W. Tönnis, W. Krenkel. Springer Verlag, Berlin (1974)
104. Pischol, K.: Open spinal surgery for intractable pain. In: *Advances in neurosurgery*, Vol. 3, Brain hypoxia, pain. Springer, Berlin (1975) 157-169
105. Ray, Ch.D.: Control of pain by electrical stimulation. A clinical follow-up review. *Advanc. Neurosurg.* 3 (1975) 216-224
106. Ray, Ch.: On Opiates, pain and the nervous system. *Neurosurg.* 1 (1977) 188
107. Ray, Ch.D., Burton, Ch.V.: Deep brain stimulation for severe chronic pain. *Acta Neurochir., Suppl.* 30 (1980) 289-293
108. Ray, Ch.D.: Spinal epidural electrical stimulation for pain control. *Seminar on Spinal cord Stimulation*, New York 1980. *Appl. Neurophysiol.* 44 (1981) 194-206
109. Ray, C.D., Burton, C.V., Lifson, A.: Neurostimulation as used in a large clinical practice. *Proc. 8th Meeting World Soc. Stereotactic and Functional Neurosurgery*, Part I, Zürich 1981. *Appl. Neurophysiol.* 45 (1982) 160-166
110. Richardson, D.E., Akil, H.: Pain reduction by electrical brain stimulation in man. Part I: Acute administration in periaqueductal and periventricular sites. *J. Neurosurg.* 47 (1977) 178-183

111. Richardson, D.E., Akil, H.: Pain reduction by electrical brain stimulation in man. Part II: Chronic self-administration in the periventricular gray matter. *J. Neurosurg.* 47 (1977) 184-194
112. Richardson, D.E., Akil, H.: Long-term results of periventricular gray self-stimulation. Session on Deep Brain Stimulation. *Neurosurgery* 1 (1977) 199-202
113. Richardson, D.E.: Central gray stimulation for control of cancer pain. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 2, Ed. J.J. Bonica and V. Ventafridda. Raven Press, New York (1979) 487-492
114. Rosomoff, H.L.: Percutaneous radiofrequency cervical cordotomy for intractable pain. *Advanc. Neurol.* 4 (1974) 683-688
115. Sano, K.: Surgery of the hypothalamus-in commemoration of Otfried Foerster. *Exc. Med.* 320 (1973) 210-218
116. Sano, K.: Intralaminar thalamotomy and posteromedial hypothalamotomy in the treatment of intractable pain. In: *Prog. Neurol. Surg.*, Vol. 8, ed. by H. Krayenbühl et al. Karger, Basel (1977) 50-103
117. Sano, K.: Stereotaxic Thalamolaminotomy and posteromedial Hypothalamotomy for the relief of intractable pain. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 2, ed. by Bonica, J.J. and Ventafridda, V., Raven Press, New York (1979) 475-485
118. Schvarcz, J.R.: Spinal cord stereotactic surgery. *Exc. Med.* 320 (1973) 234-241
119. Schvarcz, J.R.: Stereotactic extralemniscal myelotomy. *J. Neurol., Neurosurg. and Psychiatry* 39 (1976) 53-57
120. Seddon, H.: Surgery disorders of the peripheral nerves, 9. Nerve injuries causing pain. Churchill Livingstone, Edinburgh and London (1972) 139-154
121. Shealy, C.N.: Dorsal column stimulation. Optimization of application. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 142-145
122. Shelden, C.H., Paul, F., Jaques, D.B., Pudenz, R.H.: Electrical stimulation of the nervous system. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 127-132
123. Sherman, R.: Special review: Published treatments of phantom limb pain. *Amer. J. phys. Med.* 59 (1980) 232-244
124. Sherman, R.A., Sherman, C.J., Gall, N.G.: A survey of current phantom limb pain treatment in the United States. *Pain* 8 (1980) 85-99
125. Siegfried, J.: Stereotactic pulvinarotomy in the treatment of intractable pain. *Prog. neurol. Surg.* 8, Karger, Basel (1977) 104-113
126. Siegfried, J.: Monopolar electrical stimulation of nucleus ventroposteromedialis thalami for postherpetic facial pain. *Proc. 8th Meeting World Soc. Stereotactic and Functional Neurosurgery*, Part I, Zürich 1981. *Appl. Neurophysiol.* 45 (1982) 179-184

127. Sindou, M., Fischer, G., Mansuy, L.: Posterior spinal rhizotomy and selective posterior rhizidiotomy. *Prog. Neurol. Surg.* 7, Karger, Basel (1976) 201-250
128. Sitzler, G.: Transkutane Nervenstimulation und ihre Anwendung in der Behandlung von Stumpf- und Phantomschmerzen. *Z. Krankengymnastik (KG)* 33 Nr.6 (1981) 359-369
129. Šourek, K.: Commissural myelotomy. *Prog. Neurol. Surg.* 8, Karger, Basel (1977) 15-34
130. Sternbach, R.: Evaluation of pain relief. *Surg. Neurol.* 4 (1975) 199-201
131. Sturm, V., Kröger, M., Penzholz, H.: Die Problematik peripherer Eingriffe bei Stumpf- und Phantomschmerzen. *Chirurg* 46 (1975) 389-391
132. Sugita, K., Mutsuga, N., Takaoka, Y., Doi, T.: Results of stereotaxic thalamotomy for pain. *Confin. Neurol.* 34 (1972) 265-274
133. Suzuki, H., Ogawa, S., Nakagawa, H., Kanayama, T., Tai, K., Saitoh, H., Ohshima, Y.: Cryocautery of sensitized skin areas for the relief of pain due to post-herpetic neuralgia. *Pain* 9 (1980) 355-362
134. Swerdlow, M.: Subarachnoidal and extradural neurolytic blocks. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol.2, ed. Bonica, J. and Ventafridda, V. Raven Press, New York (1979)
135. Tasker, R.R., Orgari, L.W.: Percutaneous cordotomy - physiologic identification of target site. *The Proceedings of the 40th Annual Meeting of The American Association of Neurological Surgeons* (1972)
136. Tasker, R.R.: Thalamic stereotactic procedures. In: Schaltenbrand and Walker: *Stereotaxy of the Human Brain*, Georg Thieme Verlag Stuttgart (1982) 484-495
137. Tsubokawa, T., Yamamoto, T., Katayama, Y., Moriyasu, N.: Clinical results and physiological basis of thalamic relay nucleus stimulation for relief of intractable pain with Morphine tolerance. *Proc. 8th Meeting World Soc. Stereotactic and Functional Neurosurgery*, Part 1, Zürich 1981. *Appl. Neurophysiol.* 45 (1982) 143-155
138. Ventafridda, V., Sganzerla, E.P., Fochi, C., Pozzi, G., Cordini, G.: Transcutaneous nerve stimulation in cancer pain. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 2, Ed. J.J. Bonica and V. Ventafridda. Raven Press, New York (1979) 509-515
139. Wall, P.: The gate control theory of pain mechanisms - a re-examination and restatement. *Brain* 101 (1978) 1-18
140. Walker, J.B., Katz, R.L.: Non-opioid pathways suppress pain in humans. *Pain* 11 (1981) 347-354

141. Winkelmüller, W., Dietz, H., Stolke, D.: The clinical value of dorsal column stimulation(DCS). *Advances in Neurosurgery* 3 (1975) 225-228
142. White, J.C., Sweet, W.H.: "Pain and the Neurosurgeon". Ch. C. Thomas, Springfield, Ill., (1969)
143. White, J.C., Sweet, W.H.: Anterolateral cordotomy: open versus closed, Comparison of end results. *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 3, Ed. J.J.Bonica and V. Ventafridda. Raven Press, New York (1979) 911-919
144. Wood, K.: The use of phenol as a neurolytic agent: A review. *Pain* 5 (1978) 205-229
145. Yoshii, N., Mizokami, T., Ushikubo, T., Kuramitsu, T., Fukuda, S.: Long-term follow-up study after pulvinotomy for intractable pain. Meeting of the American Soc. Stereotactic and Functional Neurosurgery, Houston 1980. *Appl. Neurophysiol.* 43 (1980) 128-132
146. Zimmermann, M.: Neurophysiologische Mechanismen von Schmerz und Schmerztherapie. In: *Fortschritte der klinischen Psychologie* 27 "Schmerz" Ed. E. Pöppel, W. Keeser, P. Mitterhusen. Urban und Schwarzenberg (1982) 46-68

LEBENS LAUF

Persönliche Daten:

Geburtsdatum u. -ort	21.12.1959	Karlsruhe, Baden-Württemberg
Eltern		Sigmund Dechant, Studiendirektor Dr. Beate Dechant, Studienrätin
Geschwister		keine
Familienstand		ledig
Staatsangehörigkeit		deutsch
Konfession		katholisch

Ausbildungsdaten:

Schulausbildung	1966 - 1970	Grundschule in Haunstetten, Augsburg
	1970 - 1979	Neusprachliches Gymnasium bei St. Anna Augsburg und Erwerb der Allgemeinen Hochschulreife
Schwesternhelferinnenkurs	So 1979	Malteser Hilfsdienst München und KKH Tegernsee
	Wi 1979	Aushilfssekretärin bei MAN Augsburg
Medizinstudium	1980 - 1986	Ludwig-Maximilians-Universität München
Famulaturen	1983 / 1984	Allgemeinpraxis in Klosterlechfeld Innere Medizin KH Haunstetten Chirurgische Praxis in Haunstetten
Praktisches Jahr	1985 - 1986	- Dermatologische Abteilung des Städt. KH München-Schwabing - Medizinische Poliklinik Innenstadt der Universität München - Chirurgie: Royal Infirmary, University of Edinburgh
3. Staatsexamen	10/1986	
Approbation	11/1986	

